Б. В. КУЗНЕЦОВ, М. Ф. САЦУКЕВИЧ

АСИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ И АППАРАТЫ УПРАВЛЕНИЯ

(СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ)

МИНСК «БЕЛАРУСЬ» 1982

ББК 31.216.63я2
К 89

УДК 621.313.333(035.5)

Рецензенты: П. В. ПОЛЗИК, канд. техн. наук;
Ф. А. КАГАН, инженер-конструктор бюро электроавтоматики Минского тракторного завода

К $\frac{2302030000-155}{М 301(05)-82}$ 100—82

Глава I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АСИНХРОННОЙ МАШИНЕ

СТАНДАРТИЗАЦИЯ МОЩНОСТЕЙ И УСТАНОВОЧНЫХ РАЗМЕРОВ

При проектировании современных серий электрических машин особую роль играет стандартизация, в частности международная. Разработанные в СССР Государственные стандарты на шкалу мощностей (ГОСТ 12139—74), высоты оси вращения (ГОСТ 13267—73), установочные и присоединительные размеры (ГОСТ 12126—71, 18709—73 и 20839—75) базируются на рекомендациях Международной электротехнической комиссии (МЭК). Основные данные этих стандартов приведены в табл. 1—3.

В табл. 2 показаны принятые в публикациях МЭК условные обозначения длин корпусов (S — малая, M — средняя, L — большая, по расстоянию между осями отверстий под крепежные болты в лапах) электродвигателей с одинаковыми высотами оси вращения.

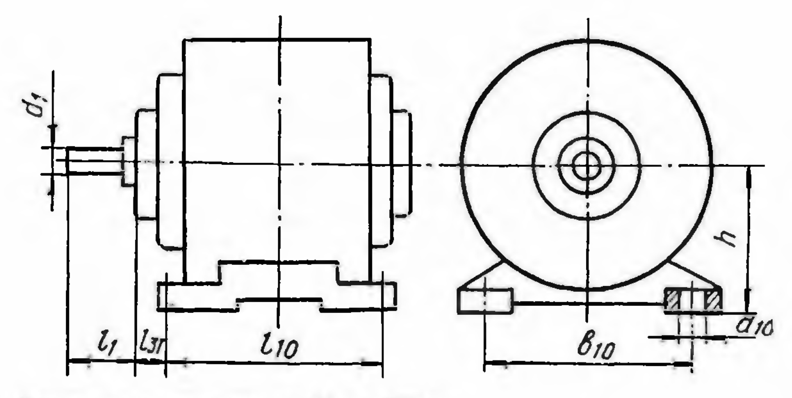
Первое международное соглашение по увязке мощностей с установочными размерами для асинхронных электродвигателей общего назначения мощностью до 100 кВт было достигнуто в 1958 году между странами СЭВ. Этот документ лег в основу при разработке серии электродвигателей А2 и АО2 мощностью до 100 кВт.

В 1968 году страны — члены СЭВ согласовали новую увязку мощностей с установочными размерами, соответствующую наиболее высокому мировому уровню. На базе указанного соглашения в Советском Союзе была разработана новая серия низковольтных асинхронных электродвигателей — 4А. Увязка мощностей серии 4А с установочными размерами приведена в табл. 4, 5.

1. Шкала мощностей по ГОСТ 12139—74 (в диапазоне от 0,06 до 1000 кВт)

0,06	0,55	4,0	22	90	315
0,09	0,75	5,5	30	110	400
0,12	1,1	7,5	37	132	500
0,18	1,5	11,0	45	160	630
0,25	2,2	15,0	55	200	800
0,37	3,0	18,5	75	250	1000

2. Высоты оси вращения и связанные с ними установочные размеры электрических машин по ГОСТ 13267—73, 18709—73 и 20839—75



Высоты оси вращения от 56 до 400 мм

h, мм	b_{10}, мм	l_{10}, мм: обозначение	l_{10}, мм: значение	l_{31}, мм	d_{10}, мм
1	2	3	4	5	6
56	90	—	71	36	5,8
63	100	—	80	40	7
71	112	—	90	45	7
80	125	—	100	50	10
90	140	S	100	56	10
		L	125		
100	160	S	112	63	12
		L	140		
112	190	S	114	70	12
		M	140		
		L	159		
132	216	S	140	89	12
		M	178		
		L	203		
160	254	S	178	108	15
		M	210		
		L	254		
180	279	S	203	121	15
		M	241		
		L	279		
200	318	S	228	133	19
		M	267		
		L	305		

1	2	3	4	5	6
225	356	*S* *M* *L*	286 311 356	149	19
250	406	*S* *M* *L*	311 349 406	168	24
280	457	*S* *M* *L*	368 419 457	190	24
315	508	*S* *M* *L*	406 457 508	216	28
355	610	*S* *M* *L*	500 550 630	254	28
400	686	*S* *M* *L* — —	560 630 710 800 900	280	35

Высоты оси вращения от 450 до 630 мм

h, мм	b_{10}, мм	l_{10}, мм	d_{10}, мм
450	710; 800; 900; 1000; 1120	355; 400; 450; 500; 560; 630; 710; 800; 900; 1000; 1120; 1250	35
500	800; 900; 1000; 1120; 1250	400; 450; 500; 560; 630; 710; 800; 900; 1000; 1120; 1250; 1400	42
560	900; 1000; 1120; 1250; 1400	450; 500; 560; 630; 710; 800; 900; 1000; 1120; 1250; 1400	42
630	1000; 1120; 1250; 1400; 1600	500; 560; 630; 710; 800; 900; 1000; 1120; 1250; 1400; 1600	48

3. Размеры выступающего конца вала электродвигателей по ГОСТ 18709—73 и 20839—75*

d_1, мм	l_1, мм	$M_{нб}$, Н м	d_1, мм	l_1, мм	$M_{нб}$, Н м
7	16	0,25	75	140	1000
9	20	0,63	80	170	1250
11	23	1,25	85	170	1600
14	30	2,8	90	170	1900
16	40	4,5	95	170	2360

d_1, мм	l_1, мм	$M_{нб}$, Н·м	d_1, мм	l_1, мм	$M_{нб}$, Н·м
18	40	7,1	100	210	2800
19	40	8,25	110	210	4000
22	50	14	120	210	—
24	50	18	125	210	—
28	60	31,5	130	250	—
32	80	50	140	250	—
38	80	90	150	250	—
42	110	125	160	300	—
48	110	200	170	300	—
55	110	355	180	300	—
60	140	450	190	350	—
65	140	630	200	350	—
70	140	800	220	350	—

* См. рис. к табл. 2.

4. Увязка мощностей с установочными размерами электродвигателей серии 4А со степенью защиты IP44*

h, мм	Обозначение длины	$P_н$, кВт, при 2p, равном						Размеры выступающего конца вала $d_1 \times l_1$, мм		Тип фланца F	
		2	4	6	8	10	12	2p=2	2p=4	с резьбой	без резьбы
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
56	—	0,18	0,12	—	—	—	—	11×23		65	115
	—	0,25	0,18	—	—	—	—			85	
63	—	0,37	0,25	0,18	—	—	—	14×30		76	130
	—	0,55	0,37	0,25	—	—	—			100	
71	—	0,75	0,55	0,37	0,25	—	—	19×40		85	165
	—	1,1	0,75	0,55	—	—	—			115	
80	—	1,5	1,1	0,75	0,37	—	—	22×50		100	165
	—	2,2	1,5	1,1	0,55	—	—			130	
90	L	3,0	2,2	1,5	0,75	—	—	24×50		130	215
					1,1	—	—				
100	S	4,0	3,0	—	—	—	—	28×60		130	215
	L	5,5	4,0	2,2	1,5	—	—			160	
112	M	7,5	5,5	3,0	2,2	—	—	32×80		—	265
				4,0	3,0	—	—				
132	S	—	7,5	5,5	4,0	—	—	38×80		—	300
	M	11,0	11,0	7,5	5,5	—	—				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
160	*S* *M*	15,0 18,5	15,0 18,5	11,0 15,0	7,5 11,0	— —	— —	42×110	48×110	—	300
180	*S* *M*	22,0 30,0	22,0 30,0	— 18,5	— 15,0	— —	— —	48×110	55×110	—	350
200	*L* *M*	45,0 55,0	45,0 37,0	30,0 37,0	22,0 18,5	— —	— —	55×110	65×140	—	400
225	*M*	55,0	55,0	37,0	30,0	—	— —	55×110	65×140	—	500
250	*S* *M*	75,0 90,0	75,0 90,0	45,0 55,0	37,0 45,0	— —	— —	65×140	75×140	—	500
280	*S* *M*	110 132	110 132	75,0 90,0	55,0 75,0	— —	— —	70×140	80×170	—	600
315	*S* *M*	160 200	160 200	110 132	90,0 110	55 75	45 55	75×140	90×170	—	600
355	*S* *M*	250 315	250 315	160 200	132 160	90 110	75 90	85×170	100× 210	—	740

* См. раздел «Исполнение электродвигателей по степени защиты».

5. Увязка мощностей с установочными размерами электродвигателей серии 4А со степенью защиты IP23*

h, мм	Обозначение длины	$P_н$, кВт, при 2*p*, равном						Размеры выступающего конца вала $d_1 \times l_1$, мм		Тип фланца без резьбы
		2	4	6	8	10	12	2p=2	2p=4	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
160	*S* *M*	22 30	18,5 22,0	11 15	7,5 11	— —	— —	42×110	48×110	350
180	*S* *M*	37 45	30 37	18,5 22	15,0 18,5	— —	— —	48×110	55×110	400
200	*M* *L*	55 75	45 55	30 37	22 30	— —	— —	55×110	60×140	400
225	*M*	90	75	45	37	—	—	55×110	65×140	500
250	*S* *M*	110 132	90 110	55 75	45 55	— —	— —	66×140	75×140	500
280	*S* *M*	160 200	132 160	90 110	75 90	— —	— —	70×140	80×170	600

* См. раздел «Исполнение электродвигателей по степени защиты».

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
315	S M	— 250	200 250	132 160	110 132	75 90	55 75	75×140	90×170	600
355	S M	315 400	315 400	200 250	160 200	110 132	90 110	85×170	100×210	740

ДИАПАЗОНЫ НАПРЯЖЕНИЙ, МОЩНОСТЕЙ И ЧАСТОТ ВРАЩЕНИЯ

По номинальному напряжению различают асинхронные электродвигатели низкого (низковольтные) и высокого (высоковольтные) напряжения. Асинхронные низковольтные электродвигатели предназначены для подключения к питающей сети с номинальным напряжением 220, 380 и 660 В, электродвигатели высоковольтные — к сети с номинальным напряжением 6000 или 10 000 В.

Асинхронные электродвигатели общего назначения низкого напряжения мощностью от 15 кВт и выше должны изготовляться с шестью выводными концами обмотки статора. Схема соединения обмотки — треугольник — звезда. Электродвигатели мощностью до 11 кВт должны изготовляться с тремя выводными концами. Схема соединения обмотки — треугольник — звезда.

У асинхронных электродвигателей высокого напряжения соединение фаз обмотки статора — звезда с выведенными во вводное устройство шестью концами, три из которых образуют нулевую точку.

В результате многолетней практики применения асинхронных электродвигателей в различных отраслях народного хозяйства, а также с учетом современных тенденций технического развития установлены определенные диапазоны мощностей при следующих напряжениях:

$U_н$, В	220 и 380	220, 380 и 660	220/380, 380/660	380/660
$P_н$, кВт	0,06—0,37	0,55—11	15—110	132—400

Для электродвигателей с $U_н = 6000$ В практикой электромашиностроения установлен нижний предел мощности 200 кВт, для электродвигателей с $U_н = 10\,000$ В — 630 кВт.

Для серийных электродвигателей с высотами оси вращения до 355 мм установлены синхронные частоты вращения 3000, 1500, 1000, 750, 600, 500 об/мин при 50 Гц.

ИСПОЛНЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПО СТЕПЕНИ ЗАЩИТЫ

Под защитой электрических машин подразумевается защита обслуживающего персонала от соприкосновения с токоведущими или вращающимися частями и защита машин от попадания внутрь твердых посторонних тел и воды.

Исполнение электрических машин по степени защиты установлено ГОСТ 1794—72. По ГОСТ 14254—69 обозначение исполнений состоит из латинских букв IP (International Protection) и двух цифр, первая из которых характеризует степень защиты персонала от соприкосновения с токоведущими или вращающимися частями, находящимися внутри машины, а также степень защиты самой машины от попадания в нее твердых посторонних тел. Вторая цифра характеризует степень защиты от проникновения воды.

Многолетняя практика разработки, выпуска и эксплуатации электродвигателей единых серий общего применения показала, что для такого рода машин вполне достаточно применение двух степеней защиты: IP23 и IP44. Первая из них характеризует машины в так называемом защищенном исполнении, вторая — в закрытом.

Для машин по степени защиты IP23 первая цифра характеризует защиту от возможности соприкосновения пальцев человека с токоведущими или движущимися частями внутри машины и защиту от попадания внутрь твердых посторонних тел диаметром не менее 12,5 мм; вторая цифра — защиту от дождя, падающего на машину под углом не более 60° к вертикали.

Для машин по степени защиты IP44 первая цифра характеризует защиту от соприкосновения инструмента, проволоки и других подобных предметов, толщина которых превышает 1 мм; вторая цифра — защиту от водяных брызг любого направления. При этом кожух наружного вентилятора должен обеспечивать степень защиты не менее IP20 на входе воздуха и защиту от соприкосновения пальцев с вращающимся вентилятором и попадания твердых посторонних тел диаметром более 50 мм — на выходе; при наличии продуваемого ротора степень защиты отверстия для прохода через ротор должна быть не менее IP23.

Асинхронные двигатели с высотами оси вращения до 132 мм выполняются со степенью защиты IP44; с высотами оси вращения свыше 132 мм — со степенью защиты IP23 и IP44.

Электродвигатели с высотами оси вращения свыше 355 мм могут иметь исполнение по степени защиты IP23.

ИСПОЛНЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПО СПОСОБАМ ОХЛАЖДЕНИЯ

Две наиболее широко применяемые в настоящее время степени защиты электрических машин — IP23 и IP44 связаны определенным образом с системами вентиляции и способами охлаждения.

Степень защиты IP23 характеризует непосредственное охлаждение внутренних частей машины воздухом, поступающим либо из окружающей среды, либо из другого источника через подводящую трубу или подводящий канал (при независимой вентиляции). Система вентиляции — радиальная.

Степень защиты IP44 для машин с самовентиляцией характеризует применение наружного обдува корпуса вентилятором с закрытым кожухом, направляющим воздух вдоль ребер или гладкой поверхности станины.

ГОСТ 20459—75 установлено обозначение способов охлаждения электрических машин, которое состоит из латинских букв IC (International Cooling) и характеристики цепи охлаждения: прописной буквы, обозначающей вид хладагента (воздух — A, водород — H, вода — W и т. д.), и двух цифр. Первая цифра условно обозначает устройство цепи для циркуляции хладагента, вторая — способ его перемещения. Если хладагентом является воздух, то буква, обозначающая его, опускается. Если машина имеет две и более цепи охлаждения, то в обозначении указываются

6. Рекомендуемые способы охлаждения асинхронных электродвигателей в зависимости от исполнения по степени защиты и высоты оси вращения

Исполнение по степени защиты	h, мм	Способ охлаждения
IP23	160—560	IC01
IP44	50—355	IC0141
IP44	400—630	IC0151

Примечание. IC01 — защищенная машина с самовентиляцией, вентилятор расположен на валу машины; IC0141 — закрытая машина, обдуваемая наружным вентилятором; IC0151 — закрытая машина, имеющая корпус с трубами для прохода воздуха, с наружным и внутренним вентиляторами.

цифровые характеристики всех цепей, начиная с цепи со вторичным хладагентом (с более низкой температурой). Поэтому в обозначении машин с воздушным охлаждением после букв IC могут следовать четыре цифры, две из которых (например, для закрытых машин) характеризуют внешнюю цепь охлаждения и две — внутреннюю (табл. 6).

ИСПОЛНЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПО СПОСОБАМ МОНТАЖА

Формы исполнения электродвигателей общего назначения по способу монтажа и их условные обозначения установлены ГОСТ 2479—65*. Буква и первые две цифры характеризуют вид машины, третья цифра — ее исполнение по способу монтажа:

M10 — на лапах с двумя подшипниковыми щитами;

M20 — на лапах с большим фланцем со стороны выступающего конца вала;

M21 — на лапах с малым фланцем со стороны выступающего конца вала;

M30 — без лап с большим фланцем со стороны выступающего конца вала;

M36 — без лап с малым фланцем со стороны выступающего конца вала;

M100 — для установки в любом положении;

M101 — для обычной установки с горизонтальным валом лапами вниз;

M102 — для крепления лапами к вертикальной поверхности концом вала вниз;

M103 — то же концом вала вверх;

M104 — для крепления лапами к потолку;

M105 — для крепления лапами к вертикальной поверхности, с горизонтальным положением вала, концом вала вправо;

M106 — то же концом вала влево.

Для обозначения формы выступающих концов вала и их числа (один или два) добавляются соответствующие буквы, приведенные в ГОСТ 2479—65, например, M101K — исполнение на лапах с двумя подшипниковыми щитами; крепление горизонтальными лапами вниз; с од-

* С 11.01.81 г. введен в действие ГОСТ 2479—79 (взамен ГОСТ 2479—65) «Условные обозначения конструктивных исполнений».

ним концом вала, форма конца вала коническая. При одном выступающем конце вала цилиндрической формы буквы в обозначение не добавляются.

В единых сериях электрических машин общего применения та или иная форма исполнения по способу монтажа зависит от размеров машины, ее принципиальной конструкции, степени защиты, высоты оси вращения и т. д.

ИСПОЛНЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПО ВОЗДЕЙСТВИЮ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Надежность электродвигателей в большой степени зависит от того, насколько в их конструкции и исполнении предусмотрена способность противостоять воздействию климатических факторов внешней среды, в условиях которой электродвигатели должны эксплуатироваться.

Исполнение электродвигателей для различных климатических районов, их категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования при воздействии климатических факторов внешней среды установлены ГОСТ 15150—69 и 15543—70.

Электродвигатели для различных климатических районов имеют следующее обозначение:

а) предназначенные для эксплуатации на суше, реках, озерах в макроклиматических районах:	
с умеренным климатом	У
с холодным климатом	ХЛ
с влажным тропическим климатом	ТВ
с сухим тропическим климатом	ТС
как с сухим, так и с влажным тропическим климатом	Т
для всех макроклиматических районов на суше (общеклиматическое исполнение)	О
б) предназначенные для всех макроклиматических районов на суше и на море	В

Ниже приведены характеристика и обозначение категории климатических исполнений электродвигателей в зависимости от мест размещения их эксплуатации:

для работы на открытом воздухе	1
для работы в помещениях, где колебания температуры и влажности воздуха несущественно отличаются от колебаний на открытом воздухе и имеется сравнительно свободный его доступ	2

для работы в закрытых помещениях с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, где колебания температуры и влажности воздуха, а также воздействие песка и пыли существенно меньше, чем на открытом воздухе | 3

для работы в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями (например, в закрытых отапливаемых и вентилируемых производственных и других помещениях) | 4

для работы в помещениях с повышенной влажностью (например, в неотапливаемых и невентилируемых подземных помещениях, в помещениях, в которых возможно длительное наличие воды или частая конденсация влаги на стенах и потолках) | 5

Электродвигатели общего назначения при отсутствии особых требований должны обеспечивать работу в макроклиматических районах с умеренным климатом — исполнение У, категория размещения 3 и 4 (ГОСТ 15543—70 и 15150—69).

ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Независимо от типа электродвигателя (с короткозамкнутой или фазной обмоткой ротора) сердечники статора и ротора выполняют из листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм (для машин небольшой мощности в ряде случаев толщиной 0,65 мм). Листы изолируют друг от друга либо оксидированием (для электродвигателей с высотами оси вращения $h \leqslant 250$ мм), либо лакировкой (для электродвигателей с большими высотами оси вращения), либо используют сталь с электроизоляционным покрытием.

Для изготовления сердечников статора и ротора наиболее прогрессивным является применение холоднокатаной изотропной электротехнической стали.

Для размещения обмотки листы сердечника статора штампуют с полузакрытыми, полуоткрытыми и открытыми пазами. При полузакрытых пазах обмотку выполняют всыпной из проводов круглого поперечного сечения, при полуоткрытых и открытых пазах — из проводов прямоугольного поперечного сечения, в результате чего повышается коэффициент заполнения пазов медью.

Простейшим видом короткозамкнутой обмотки ротора является обмотка в форме беличьей клетки. Короткозамкнутые роторы электродвигателей общего применения вы-

полняют с овальными полузакрытыми или закрытыми, бутылочными закрытыми и прямоугольными закрытыми пазами. Разнообразие конструктивных форм пазов связано с величиной номинального напряжения, высотой оси вращения и числом полюсов электродвигателей.

Обмотка роторов при $h \leqslant 355$ мм — литая алюминиевая; вместе со стержнями отливают короткозамыкающие кольца и вентиляционные лопатки. Обмотку роторов при $h = 400-560$ мм выполняют из прямоугольных шин, которые укладывают в открытые пазы ротора и приваривают к алюминиевым короткозамыкающим кольцам.

Короткозамкнутые роторы электродвигателей с повышенным пусковым моментом выполняют с двойной беличьей клеткой, а также глубокопазными. В электродвигателях с повышенным скольжением короткозамкнутая обмотка ротора выполняется заливкой специальным алюминиевым сплавом.

В электродвигателях с фазным ротором листы сердечника ротора штампуют с полузакрытыми пазами. В пазы укладывается обычно трехфазная обмотка, которая соединяется по схеме звезды или треугольника и выводится к трем контактным кольцам, расположенным на валу электродвигателя. Контактные кольца с насаженными на них щетками служат для включения пускорегулирующего реостата.

В электродвигателях основного исполнения при $h \geqslant 280$ мм фазную обмотку ротора в виде двухслойной волновой выполняют из медных изолированных стержней прямоугольного поперечного сечения.

Ответственным конструктивным элементом асинхронных электродвигателей является зазор между статором и ротором. Величина зазора влияет на энергетические и виброакустические показатели, использование активных материалов и надежность электродвигателей При уменьшении зазора понижается реактивная составляющая тока холостого хода и, следовательно, повышается коэффициент мощности электродвигателя; вместе с тем увеличивается магнитное рассеяние, а следовательно, индуктивное сопротивление электродвигателя; увеличиваются добавочные потери, уменьшается фактический КПД электродвигателя и увеличивается нагрев обмоток; увеличивается уровень шума и вибрации магнитного присоединения, возрастает нагрузка на вал и подшипники от силы магнитного притяжения; возникает опасность касания ротора о статор и тем самым

понижается надежность электродвигателя. В асинхронных электродвигателях величина воздушного зазора колеблется в пределах от 0,2 до 2 мм (см. табл. 40, 41).

Сердечник ротора насаживается непосредственно на вал электродвигателя. В сердечнике роторов с высотами оси вращения $h \geqslant 250$ мм предусматривается один ряд аксиальных круглых вентиляционных каналов для улучшения охлаждения электродвигателей, снижения их массы, уменьшения момента инерции.

По способу вентиляции машины делятся на следующие основные типы: с самовентиляцией, с наружной самовентиляцией, с независимым охлаждением.

Машины с самовентиляцией охлаждаются с помощью вентилятора, составляющего одно целое с вращающейся частью машины. Вентилятор засасывает извне холодный воздух и прогоняет его через машину. В зависимости от того, в каком направлении движется по машине охлаждающий воздух, различают следующие две вентиляционные схемы: радиальную и аксиальную (осевую).

Машины с наружной самовентиляцией охлаждаются при помощи вентилятора, вынесенного за подшипниковый щит. Чтобы ускорить передачу тепла от внутренних частей машины к ее наружной поверхности, воздух внутри машины заставляют циркулировать при помощи внутренних вентиляторов.

В машинах с независимым охлаждением воздух подводится при помощи независимого, т. е. имеющего собственный привод вентилятора.

Асинхронные электродвигатели изготовляются с оболочками из алюминиевых сплавов, чугуна или сварными из стального проката и листовой стали.

В последних отечественных конструкциях электродвигателей наблюдается тенденция перехода от круглых внешних очертаний к прямоугольным. Электродвигатели такой формы лучше вписываются в интерьер производственных помещений, гармонируя с прямыми линиями колонн, перекрытий, мостовых кранов, станков и т. д. Подобная форма машин в ряде случаев позволяет существенно увеличить диаметр сердечника статора и лучше использовать внутренний объем машины при данной высоте оси вращения без сужения путей для охлаждения воздуха либо перейти на меньшую высоту оси вращения.

Перспективной является так называемая блочная кон-

струкция электродвигателей, при которой блоки механической и электрической частей изготовляются независимо, на отдельных технологических потоках, и объединяются только при окончательной сборке машины. Блочная конструкция представляет широкие возможности для унификации деталей и сборочных единиц электродвигателей различных исполнений по степени защиты и способам охлаждения.

В отечественной практике последних лет применяется блочная конструкция асинхронных электродвигателей с прямоугольной формой внешних очертаний и с коробчатой станиной, охватывающей сердечник статора не по всей его окружности, а только в нижней части. Подобная конструкция реализована в следующих сериях асинхронных электродвигателей: низковольтных 4АН—4АНК при h = 280—355 мм и высоковольтных А2—АК2 и А02—А0К2 при h = = 450—560 мм.

Для подключения асинхронного электродвигателя к электрической сети служит вводное устройство. Низковольтные электродвигатели общего назначения с h = 250 мм обычно имеют вводное устройство с панелью выводов и одним штуцером (исполнение К—3—I), а электродвигатели с h = 280—355 мм — с панелью выводов и двумя штуцерами (исполнение К—3—II). Штуцеры предназначены для подсоединения гибкого металлического рукава и кабелей с медными или алюминиевыми жилами в оболочке из резины или пластиков.

У высоковольтных электродвигателей с h = 400 мм вводное устройство расположено сбоку станины. Панель имеет четыре изолятора, на которых крепятся выводы трех фаз обмотки и нулевой точки. К нулевой точке подводятся кабели всех трех фаз, что дает возможность при профилактических осмотрах и ремонтах разъединять фазы обмотки для проверки сопротивления изоляции и ее электрической прочности.

Глава II

АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ — ОСНОВНОЙ ПОТРЕБИТЕЛЬ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

СОСТАВЛЯЮЩИЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

На долю асинхронных электродвигателей приходится свыше 60 % всей реактивной мощности, потребляемой промышленными предприятиями.

Физическая сущность реактивной мощности, как мощности намагничивающей, наглядно иллюстрируется следующим выражением:

$$Q = c\Phi_m^2 f R_\mu = cB_m^2 fV/\mu = c_1 U^2 fV/\mu, \qquad (1)$$

где c — постоянная величина; Φ_m — амплитуда переменного магнитного потока; B_m — амплитуда магнитной индукции; f — частота переменного тока; R_μ — магнитное сопротивление пути магнитного потока; μ — магнитная проницаемость цепи; V — объем магнитной цепи; U — напряжение питающей сети.

Анализ соотношения (1) показывает, что потребление реактивной мощности тем больше, чем больше магнитное сопротивление.

Наличие воздушного зазора между статором и ротором является главной причиной относительно большого потребления реактивной мощности. Поэтому на электромашиностроительных заводах асинхронные электродвигатели конструируют с минимально возможным воздушным зазором.

При данной частоте переменного тока и неизменной величине магнитного сопротивления R_μ реактивная мощность пропорциональна квадрату магнитной индукции или квадрату напряжения питающей сети. Так как в действительности магнитное сопротивление асинхронного электродвигателя не остается постоянным, а зависит от величины напряжения или магнитной индукции, то указанная в формуле (1) квадратичная пропорциональность не сохраняется. По некоторым данным, повышение напряжения на 1 % вызывает увеличение потребления реактивной мощности на 3 %.

Если напряжение неизменно, а частота тока f уменьшается, то это вызывает соответствующее увеличение магнитного потока Φ_m (и магнитной индукции B_m). При этом вследствие насыщения уменьшается магнитная проницаемость μ, а реактивная мощность заметно увеличивается. Практически можно считать, что при уменьшении частоты на 1 % реактивная мощность асинхронного электродвигателя увеличивается на 2 %.

При постоянных значениях U и f реактивная мощность пропорциональна объему магнитной цепи. В силу этого асинхронный электродвигатель закрытого типа с относительно большим объемом магнитной цепи потребляет из сети бо́льшую реактивную мощность, чем асинхронный электродвигатель той же мощности, но открытого типа. Этим же объясняется и тот факт, что тихоходный асинхронный электродвигатель потребляет из сети бо́льшую реактивную мощность, чем быстроходный той же мощности.

Реактивная мощность, потребляемая асинхронным электродвигателем при данной нагрузке, может быть представлена выражением:

$$Q = Q_0 + \Delta Q = Q_0 + (Q_н - Q_0) K^2_{нг} = Q_0 + \Delta Q_н K^2_{нг}, \quad (2)$$

где Q_0 — реактивная мощность холостого хода электродвигателя; ΔQ — прирост потребления реактивной мощности при данной нагрузке электродвигателя; $Q_н$ — реактивная мощность электродвигателя при номинальной нагрузке;

$$Q_н = P_н \operatorname{tg} \varphi_н / \eta_н ; \quad (3)$$

$\Delta Q_н$ — прирост потребления реактивной мощности при номинальной нагрузке электродвигателя; $K_{нг}$ — коэффициент нагрузки электродвигателя:

$$K_{нг} = P \eta_н / P_н \eta \approx P/P_н ;$$

P — мощность нагрузки на валу электродвигателя; $P_н$ — номинальная мощность электродвигателя; $\eta_н$ — номинальный КПД электродвигателя; η — КПД электродвигателя для данной нагрузки; $\operatorname{tg} \varphi_н$ — тангенс угла сдвига фаз, соответствующий номинальному коэффициенту мощности.

Основную роль в балансе реактивной мощности асинхронного электродвигателя играет первая составляющая выражения (2) Q_0 — реактивная мощность холостого хода (намагничивающая мощность), зависящая от объема магнитной цепи, т. е. от номинальной мощности и конструкции

электродвигателя. На ее долю приходится 60—90 % реактивной мощности электродвигателя при 100 %-ной нагрузке (единая серия асинхронных электродвигателей).

Вторая составляющая реактивной мощности $\Delta Q_н$ связана с потоками рассеяния. При нагрузках, не равных номинальным, прирост реактивной мощности ΔQ пропорционален квадрату коэффициента нагрузки электродвигателя, т. е. $\Delta Q = K_{нг}^2 \Delta Q_н$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И ТОКА ХОЛОСТОГО ХОДА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Данные нормальных значений реактивной мощности холостого хода необходимы производственникам, осуществляющим эксплуатацию и ремонт асинхронных электродвигателей. Эти данные дают возможность правильно оценивать фактические показатели работы и техническое состояние электродвигателей, определить оптимальный коэффициент их нагрузки, решать такие задачи, как, например, изъятие избыточной мощности при замене незагруженных электродвигателей, эффективность применения ограничителей холостого хода, переключения со звезды на треугольник, построение рабочих характеристик электродвигателей. Электромашиностроительные заводы в своих каталогах не приводят этих данных.

Для восполнения этого пробела в ряде литературных источников приводятся способы определения реактивной мощности холостого хода асинхронных электродвигателей. Величина реактивной мощности холостого хода электродвигателей, для которых известны только значения $P_н$, $\eta_н$ и $\cos \varphi_н$, может быть определена по формуле:

$$Q_0 = P_н m / \eta_н , \qquad (4)$$

где m — расчетный параметр, определяемый при помощи графика (рис. 1), построенного для усредненных пусковых данных (кратностей пускового тока и момента, $\sin \varphi_{пуск}$), наиболее часто встречающихся на практике.

При наличии каталожных данных — значений КПД и коэффициента мощности при частичных нагрузках электродвигателя, например, для серии 4А, величина Q_0 может быть определена применительно к конкретному типу электродвигателя:

$$Q_0 = (Q - K_{нг}^2 Q_н)/(1 - K_{нг}^2), \qquad (5)$$

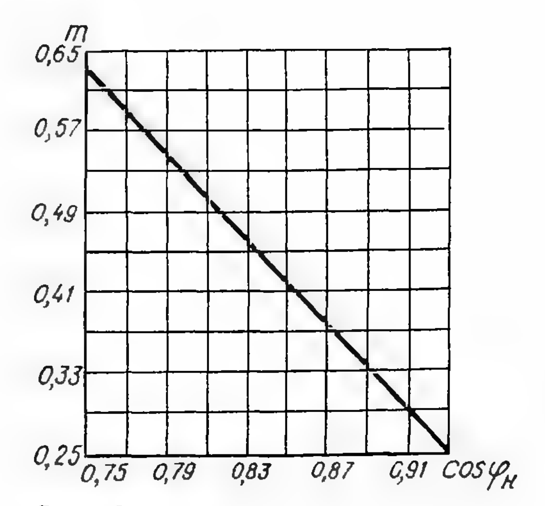


Рис. 1. Зависимость расчетного параметра *m* от номинального коэффициента мощности асинхронного электродвигателя

где Q — реактивная мощность асинхронного электродвигателя при частичной нагрузке (данном $K_{нг}$);

$$Q = K_{нг} P_н \operatorname{tg} \varphi / \eta; \qquad (6)$$

η — КПД электродвигателя при данном $K_{нг}$; $\operatorname{tg}\varphi$ — тангенс угла сдвига фаз, соответствующий коэффициенту мощности при данном $K_{нг}$.

Зная величину Q_0, можно определить ток холостого хода, который с небольшой погрешностью принимают равным намагничивающему току

$$I_0 \approx Q_0 / \sqrt{3}\, U_н. \qquad (7)$$

Пример 1. Определить реактивную мощность и ток холостого хода асинхронного электродвигателя типа 4А100S2У3, исходя из следующих данных: $P_н = 4$ кВт; $U_н = 380$ В; $I_н = 7{,}8$ А; $\eta_н = 86{,}5$ %; $\cos\varphi_н = 0{,}89$. Значения КПД и $\cos\varphi$ при частичных нагрузках по данным каталога (01. 01. 63—77. Двигатели асинхронные трехфазного тока единой серии 4А мощностью от 0,6 до 400 кВт):

$K_{нг}$	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25
η, %	80	86	87	86,5	85
$\cos\varphi$	0,60	0,80	0,86	0,89	0,90

Примем $K_{нг} = 0{,}5$, тогда:

$Q_н = P_н \operatorname{tg}\varphi_н / \eta_н = 4 \cdot 0{,}511/0{,}865 = 2{,}36$ квар;

$Q = K_{нг} \varphi_н \operatorname{tg}\varphi/\eta = 0{,}5 \cdot 4 \cdot 0{,}75/0{,}86 = 1{,}74$ квар;

$Q_0 = (Q - K_{нг}^2 Q_н)/(1 - K_{нг}^2) = (1{,}74 - 0{,}5^2 \cdot 2{,}36)/(1 - 0{,}5^2) = 1{,}53$ квар;

$I_0 = Q_0 / \sqrt{3}\, U_н = 1{,}53 \cdot 10^3/\sqrt{3} \cdot 380 = 2{,}32$ А, или в относительных единицах $I_0 / I_н = 2{,}32/7{,}8 = 0{,}297$ (примерно 30 %).

Используя выражение (4) и график на рис. 1, получим:

$Q_0 = P_н\, m/\eta_н = 4 \cdot 0{,}34/0{,}865 = 1{,}57$ квар,

т. е. расхождение составляет около 3 % по сравнению с методом каталожных данных.

Метод каталожных данных применим для асинхронных электродвигателей любого исполнения (как для короткозамкнутых, так и с фазным ротором), а метод с использованием соотношения (4) — только для асинхронных короткозамкнутых электродвигателей нормального исполнения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

В практике использований асинхронных электродвигателей определение наивыгоднейшего коэффициента их нагрузки весьма актуально, так как он характеризует КПД и коэффициент мощности двигателя.

Зависимость КПД от коэффициента нагрузки может быть представлена в виде:

$$\eta = K_{нг} P_н /(K_{нг} P_н + \Delta p),$$

где Δp — суммарные потери активной мощности в электродвигателе;

$$\Delta p = \Delta p_0 + \Delta p_{нг} = \Delta p_0 + K_{нг}^2 \Delta p_{н.нг} \text{ или } \Delta p = P_н \left(\frac{1 - \eta_н}{\eta_н}\right)\left(\frac{a + K_{нг}^2}{a + 1}\right); \quad \textbf{(8)}$$

Δp_0 — потери холостого хода; $\Delta p_{нг}$ — суммарные нагрузочные потери при данном $K_{нг}$; $\Delta p_{н.нг}$ — номинальные нагрузочные потери; $a = \Delta p_0 / \Delta p_{н.нг}$ — расчетный коэффициент, зависящий от конструкции электродвигателя и определяемый по данным каталога (см. пример 1); приближенное значение коэффициента a может быть получено из следующего равенства:

$$a = \Delta p_0, \% /(1 - \eta_н, \%) - \Delta p_0, \%.$$

Потери холостого хода Δp_0 можно определить по данным каталога, если известна зависимость $\eta\ (K_{нг})$:

$$\Delta p_0 = (\Delta p - K_{нг}^2 \Delta p_н)/(1 - K_{нг}^2); \quad \Delta p = K_{нг} P_н/\eta - K_{нг} P_н;$$
$$\Delta p_н = P_н/\eta_н - P_н. \qquad (9)$$

Для нахождения Δp_0 по формуле (9) необходимо иметь значения КПД электродвигателя при частичных нагрузках. Такие данные приводятся в каталогах для единых серий асинхронных электродвигателей.

Пример 2. Определить потери холостого хода Δp_0 в асинхронном электродвигателе, данные которого приведены в примере 1.

Номинальные потери в электродвигателе составят:

$\Delta p_н = P_н/\eta_н - P_н = 4/0{,}865 - 4 = 0{,}62$ кВт.

Потери при $K_{нг} = 0{,}5$, тогда

$\Delta p = K_{нг} P_н/\eta - K_{нг} P_н = 0{,}5 \cdot 4/0{,}86 - 0{,}5 \cdot 4 = 0{,}3$ кВт.

Потери холостого хода по формуле (9)

$$\Delta p_0 = (\Delta p - K_{нг}^2 \Delta p_н)/(1 - K_{нг}^2) = (0{,}3 - 0{,}5^2 \cdot 0{,}62)/(1 - 0{,}5^2) = 0{,}19 \text{ кВт}.$$

Номинальные нагрузочные потери

$\Delta p_{н.нг} = \Delta p_н - \Delta p_0 = 0{,}62 - 0{,}19 = 0{,}43$ кВт.

Расчетный коэффициент $a = \Delta p_0/\Delta p_{н.нг} = 0{,}19/0{,}43 = 0{,}44$.

Коэффициент нагрузки электродвигателя, при котором КПД достигает своего максимального значения, определяется, как известно, из выражения $K'_{нг.опт} = \sqrt{a}$.

Для электродвигателя из примера 1 оптимальный коэффициент нагрузки $K'_{нг.опт} = \sqrt{a} = \sqrt{0{,}44} = 0{,}68 \approx 0{,}7$.

В приведенных расчетах учитывались потери активной мощности только в самом электродвигателе. Учет же потерь в энергосистеме, обусловленных реактивной нагрузкой электродвигателя, производится с помощью коэффициента потерь $K_э$, который выражается в кВт/квар (табл. 7).

Суммарные потери активной мощности в электродвигателе и в энергосистеме от реактивной нагрузки электродвигателя могут быть определены по формуле:

$$\Delta p_{сум} = \Delta p + K_э Q = \Delta p_0 + K_{нг}^2 \Delta p_{н\,нг} + K_э [Q_0 (1 - K_{нг}^2) + K_{нг}^2 Q_н]. \qquad (10)$$

Оптимальный с чисто энергетической точки зрения коэффициент нагрузки электродвигателя примет вид равенства:

$$K_{нг.опт} = \sqrt{\frac{\Delta p_0 + K_э Q_0}{\Delta p_{н.нг} + K_э (Q_н - Q_0)}}. \qquad (11)$$

7. Значения коэффициента потерь

Характеристика трансформаторов и системы электроснабжения	$K_э$, кВт/квар	
	в часы максимума энергосистемы	в часы минимума энергосистемы
Трансформаторы, питающиеся непосредственно от шин электростанций	0,02	0,02
Сетевые трансформаторы, питающиеся от электростанций на генераторном напряжении	0,07	0,04
Понижающие трансформаторы, питающиеся от районных сетей:		
110/35/10 кВ	0,1	0,05
10—6/0,4 кВ	0,15	0,1

Возвращаясь к примеру 1 и приняв $K_э = 0,15$ кВт/квар, найдем оптимальный коэффициент нагрузки электродвигателя с учетом суммарных потерь активной мощности:

$$K_{нг.опт} = \sqrt{\frac{\Delta p_0 + K_э Q_0}{\Delta p_{н.нг} + K_э (Q_н - Q_0)}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,19 + 0,15 \cdot 1,53}{0,43 + 0,15\,(2,36 - 1,53)}} = \sqrt{0,75} = 0,87.$$

Таким образом, приведенные расчеты показывают, что если не учитывать влияния потребляемой реактивной мощности на величину суммарных потерь активной мощности, т. е. для $K_э = 0$ (что было бы неправильным), то оптимальные коэффициенты нагрузки окажутся намного заниженными.

Анализ уравнения (11) показывает также, что оптимальный коэффициент нагрузки при всех прочих равных условиях тем больше, чем больше реактивная мощность холостого хода и коэффициент потерь.

СНИЖЕНИЕ РЕАКТИВНЫХ НАГРУЗОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПУТЕМ УЛУЧШЕНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ

Правильный подбор номинальной мощности электродвигателей

В процессе эксплуатации асинхронных электродвигателей важно приближение средних коэффициентов нагрузки к оптимальным. Это позволяет уменьшить удельный расход электроэнергии на единицу продукции, повысить коэф-

фициент использования рабочих машин и их производительность.

В целях повышения рентабельности работы асинхронных электродвигателей и приближения их нагрузочного режима к наивыгоднейшему необходимо знать фактический коэффициент нагрузки эксплуатируемых электродвигателей. Этот коэффициент можно установить путем определения нагрузки на валу электродвигателя по показаниям амперметра. В условиях нормального режима работы машины определяется средний расчетный ток нагрузки $I_{ср}$, после чего, зная номинальный (паспортный) ток электродвигателя $I_н$ и номинальный коэффициент мощности, можно определить по кривым (рис. 2) коэффициент нагрузки электродвигателя.

Кривые практически охватывают весь диапазон номинальных коэффициентов мощности. Если же величина коэффициента мощности проверяемого электродвигателя не совпадает ни с одним из значений $\cos\varphi_н$, то средний фактический коэффициент нагрузки данного электродвигателя подбирают в промежуточном поле между двумя наиболее близкими кривыми на рис. 2.

При определении среднего тока нагрузки следует учитывать особенности нагрузочных графиков рабочих машин и механизмов. Обобщая эти графики, можно выделить четыре характерные группы машин:

1) с относительно равномерным нагрузочным током электродвигателя (вентиляторы, центробежные насосы, компрессоры, транспортеры непрерывного действия и др.);

2) с периодически повторяющейся (цикличной) нагрузкой (станки-автоматы, различные прессы, молоты, штампы, долбежные и дыропробивные станки, ножовочные пилы и др.);

3) с цикличной нагрузкой, у которых в периоды пауз (вспомогательного времени) производится отключение электродвигателей от питающей сети (сверлильные, фрезерные, мелкие и средние токарные станки и др.);

4) с непериодическим и неравномерным нагрузочным током электродвигателя, например, универсальные металлорежущие станки и др.

При снятии графиков нагрузки с помощью амперметра необходимо проверять напряжение сети, и если ток замеряется при напряжении, заметно отличном от номинального, то в расчеты следует внести соответствующую поправку (рис. 3).

1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
1
2
3
4
5
6
7
8
0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1,0

Рис. 2. Кривые для определения среднего и среднеквадратичного коэффициентов нагрузки асинхронных электродвигателей при различных значениях:

1 — для $\cos\varphi_н = 0{,}92$, *2* — 0,89, *3* — 0,86; *4* — 0,83; *5* — 0,79, *6* — 0,76; 7 — 0,73; *8* — 0,69, по вертикальной оси откладываются значения $K_{нг} = P_{ск}/P_н$ или $K_{нг} = P/P_н$, по горизонтальной — значения $K_i = I_{ср}/I_н$ или $K_{Iск} = I_{ск}/I_н$

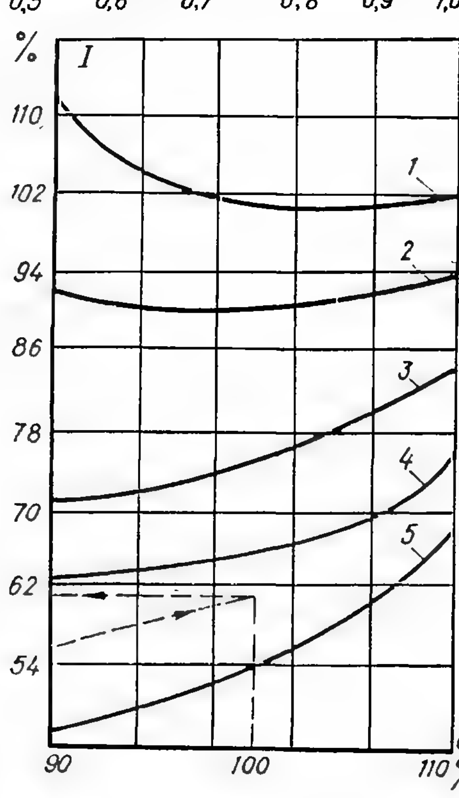


Рис. 3. Кривые для приведения относительного тока к номинальному напряжению:

1 — относительный ток $I/100I_н = 100$ % при $U = U_н$; *2* — то же 90 % при $U = U_н$; *3* — то же 75 % при $U = U_н$; *4* — то же 65 % при $U = U_н$; *5* — то же 55 % при $U = U_н$

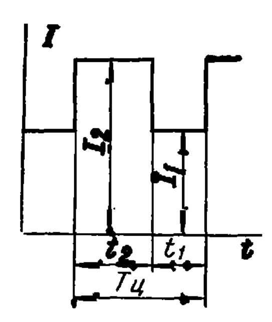


Рис. 4. График нагрузочного тока электропривода при цикличном режиме нагрузки

Пример 3. Асинхронный электродвигатель типа 4A132M4У3, $P_н = 11$ кВт, $U_н = 380$ В, $I_н = 22$ А, $\cos\varphi_н = 0,87$ приводит в движение центробежный насос. Определить мощность на валу электродвигателя.

Так как режим работы центробежного насоса характеризуется неизменной производительностью, то расчетный ток $I_{ср}$ может быть определен по одному-двум замерам тока статора. Пусть этот ток составляет 12,3А при напряжении 342 В.

Относительный нагрузочный ток составляет (12,3/22) 100 = 56 % при относительном напряжении (342/380) 100 = 90 %. Приведем полученное значение тока к 100 % напряжения, пользуясь кривыми на рис. 3 (показано пунктиром). Приведенный относительный ток равен приблизительно 60 %, т. е. $K_I = I_{ср}/I_н = 0,6$.

Тогда в промежуточном поле между кривыми *2* и *3* на рис. 2 (для $\cos\varphi_н = 0,87$) находим для $K_I = 0,6$ коэффициент нагрузки электродвигателя $K_{нг} = 0,55$.

Следовательно, мощность на валу электродвигателя составляет:

$P = K_{нг} P_н = 0,55 \cdot 11 \approx 0,6$ кВт.

Пример 4. Механизм, имеющий цикличный график нагрузки (рис. 4), приводится в движение асинхронным электродвигателем типа 4АС160S8У3, $P_н = 9$ кВт, $U_н = 380$ В, $I_н = 21$ А, $\cos\varphi_н = 0,8$. Определить средний коэффициент нагрузки электродвигателя при следующих параметрах графика: $I_1 = 9,2$ А, $I_2 = 18$ А, $t_1 = 8$ с, $t_2 = 10$ с, $T_ц = t_1 + t_2 = 8 + 10 = 18$ с.

Средний расчетный ток

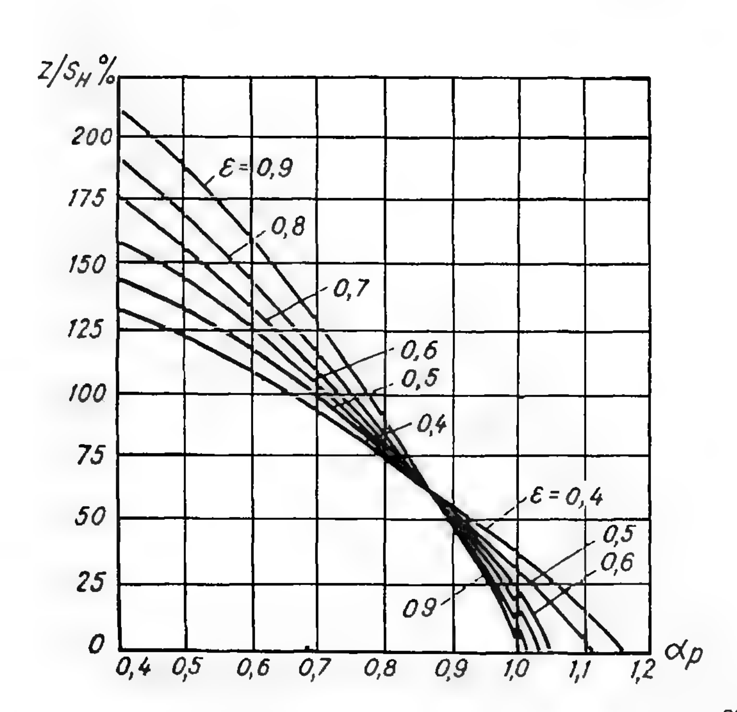
$$I_{ср} = \frac{I_1 t_1 + I_2 t_2 + \ldots}{T_ц} = \frac{9,2 \cdot 8 + 18 \cdot 10}{18} = \frac{253,6}{18} = 14 \text{ А}.$$

В промежуточном поле между кривыми *4* и *5* находим, что при $K_I = I_{ср}/I_н = 14/21 = 0,66$ средний коэффициент нагрузки электродвигателя $K_{нг} = 0,55$. Следовательно, средняя нагрузка на валу электродвигателя $P = K_{нг} P_н = 0,55 \cdot 9 = 4,68$ кВт.

Пример 5. Металлорежущий станок, снабженный ограничителем холостого хода при цикличном графике нагрузки, приводится в движение асинхронным электродвигателем 4A132M4У3, $P_н = 11$ кВт, $U_н = 380$ В, $I_н = 22$ А, $n_н = 1460$ об/мин ($S_н = 2,66$ %), $\cos\varphi_н = 0,87$. Определить средний коэффициент нагрузки электродвигателя при следующих параметрах нагрузочного графика (рис. 5) : $I_1 = 15$ А (при $U_н = 380$ В), $I_2 = 10$ А (при $U_н = 380$ В), $t_1 = 10$ с, $t_2 = 20$ с, длительность включения $t_в = t_1 + t_2 = 10 + 20 = 30$ с, паузы $t_0 = 30$ с, цикла $T_ц = t_в + t_0 = 30 + 30 = 60$ с, относительная продол-

Рис. 5. График нагрузочного тока электропривода при цикличном режиме нагрузки и наличии ограничителя холостого хода

Рис. 6. Кривые $z/S_н$ % при различных значениях относительной продолжительности включения



жительность включения $\varepsilon = t_в / T_ц = 30/60 = 0,5$, число включений электродвигателя в час $z = 3600/T_ц = 3600/60 = 60$.

Средний расчетный ток нагрузки электродвигателя, автоматически отключаемого на период паузы, определяется из выражения:

$$I_{ср} = \frac{I_1 t_1 + I_2 t_2 + \dots}{(t_1 + t_2)\alpha_р} = \frac{15 \cdot 10 + 10 \cdot 20}{(10 + 20)\,1,05} \approx 11 \text{ А},$$

где $\alpha_р$ — коэффициент, зависящий от числа включений в час z, номинального скольжения $s_н$ % и относительной продолжительности включения ε; этот коэффициент определяется по кривым на рис. 6.

В данном случае для $\varepsilon = 0,5$ и $z/S_н \% = 60/2,66$ коэффициент $\alpha_р = 1,05$.

В промежуточном поле между кривыми *4* и *5* на рис. 2 находим, что при $K_I = I_{ср}/I_н = 11/22 = 0,5$ средний коэффициент нагрузки электродвигателя $K_{нг} = 0,48$. Следовательно, средняя нагрузка на валу электродвигателя $P = K_{нг} P_н = 0,48 \cdot 11 = 5,3$ кВт.

Пример 6. Универсальный токарный станок, имеющий непериодический и неравномерный график нагрузки, приводится в движение асинхронным электродвигателем типа 4АН160М4У3, $P_н = 22$ кВт, $U_н = 380$ В, $I_н = 42,2$ А, $n_н = 1458$ об/мин, $\cos\varphi_н = 0,88$. Определить мощность на валу электродвигателя.

В связи с переменным характером нагрузки подобных станков необходимо в условиях характерного режима станка выявить часовой график нагрузочного тока.

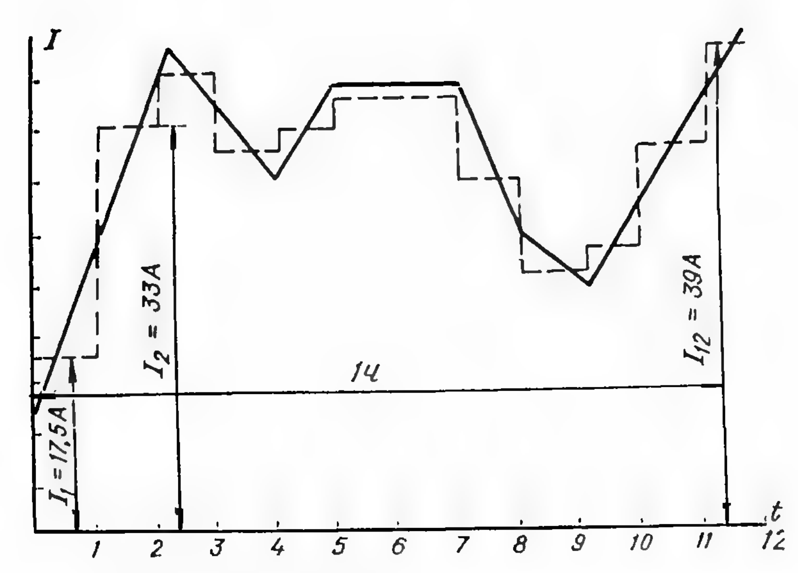


Рис. 7. График нагрузочного тока электропривода при непериодическом и неравномерном режиме нагрузки

Средний расчетный ток нагрузки электродвигателя определяется на основе расчетного графика, перестроенного соответственно пунктирной линии на рис. 7, из выражения

$$I_{ср} = \frac{I_1 + I_2 + \ldots + I_{12}}{12} =$$

$$= \frac{17{,}5+33+38+32+34+38+38+31+20{,}5+23+32+39}{12} = 31{,}3 \text{ А.}$$

Определив затем $K_i = I_{ср}/I_н = 31{,}3/42{,}2 = 0{,}73$, находим в промежуточном поле между кривыми *2* и *3* на рис. 7 (для $\cos\varphi_н = 0\ 88$) искомый коэффициент нагрузки электродвигателя $K_{нг} = 0{,}73$. Следовательно, средняя нагрузка на валу электродвигателя $P = K_{нг} \times \times P_н = 0{,}73 \cdot 22 = 16{,}06$ кВт.

Определение целесообразности замены незагруженных электродвигателей

Если средняя нагрузка электродвигателя не превышает 45 % номинальной мощности, то замена его менее мощным всегда целесообразна и проверка на рентабельность не требуется. При нагрузке электродвигателя более 70 % номинальной мощности можно считать, что замена его нецелесообразна.

При нагрузке электродвигателя в пределах 45—70 % номинальной мощности замена целесообразна при уменьшении суммарных потерь активной мощности в энергосистеме и в электродвигателе. Эти потери могут быть определены по формуле (10).

Пример 7. Электродвигатель типа 4А250М4У3, $P_н = 90$ кВт, $U_н = 380$ В, $n_н = 1480$ об/мин, $\eta_н = 93\,\%$, $\cos\varphi_н = 0{,}91$, $Q_0 = 22$ квар, $Q_н = 44$ квар, $\Delta p_0 = 2{,}5$ кВт, $\Delta p_{н.нг} = 3{,}2$ кВт работает с нагрузкой на валу $P = 50$ кВт.

Коэффициент повышения потерь в данном пункте энергосистемы $K_э = 0{,}15$ кВт/квар.

Фактический коэффициент нагрузки электродвигателя

$K_{нг} = P/P_н = 50/90 = 0{,}55.$

Оптимальный коэффициент нагрузки

$$K_{нг.опт} = \sqrt{\frac{\Delta p_0 + K_э Q_0}{\Delta p_{н.нг} + K_э (Q_н - Q_0)}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2{,}5 + 0{,}15 \cdot 22}{3{,}2 + 0{,}15\,(44 - 22)}} = 0{,}94,$$

т. е. примерно вдвое больше фактического. Поэтому решено заменить указанный электродвигатель.

Представляется целесообразным рассмотреть два варианта:

замена электродвигателем 4А250S4У3, $P_н = 75$ кВт, $n_н = 1480$ об/мин, $\eta_н = 0{,}93$ %, $\cos\varphi_н = 0{,}9$, $Q_0 = 19{,}6$ квар, $\Delta p_0 = 2{,}7$ кВт, $\Delta p_{н.нг} = 2{,}9$ кВт, $Q_н = 38{,}7$ квар;

замена электродвигателем 4А225М4У3, $P_н = 55$ кВт, $n_н = 1480$ об/мин, $\eta_н = 92{,}5$ %, $\cos\varphi_н = 0{,}9$, $Q_0 = 16{,}2$ квар, $\Delta p_0 = 1{,}5$ кВт, $\Delta p_{н.нг} = 2{,}1$ кВт, $Q_н = 28{,}5$ квар.

Суммарные потери активной мощности в энергосистеме, обусловленные работой электродвигателя $P_н = 90$ кВт при $K_{нг} = 0{,}55$, определяются равенством:

$$\Delta p_{сум} = \Delta p_0 + K_{нг}^2 \Delta p_{н.нг} + K_э[(1 - K_{нг}^2) Q_0 + K_{нг}^2 Q_н] = 2{,}5 + 0{,}55^2 \cdot 3{,}2 + 0{,}15[(1 - 0{,}55^2) 22 + 0{,}55^2 \cdot 44] = 7{,}8 \text{ кВт}.$$

Аналогично определяются суммарные потери активной мощности в энергосистеме $\Delta p_{сум1}$ при работе электродвигателя $P_н = 75$ кВт с $K_{нг} = 50/75 = 0{,}67$ и потери $\Delta p_{сум2}$ при работе электродвигателя с $K_{нр} = 50/55 = 0{,}91$:

$$\Delta p_{сум1} = 2{,}7 + 0{,}67^2 \cdot 2{,}9 + 0{,}15\ [19{,}6(1 - 0{,}67^2) + 0{,}67^2 \cdot 38{,}7] = 8{,}2 \text{ кВт};$$

$$\Delta p_{сум2} = 1{,}5 + 0{,}91^2 \cdot 2{,}1 + 0{,}15\,[16{,}2(1 - 0{,}91^2) + 0{,}91^2 \cdot 28{,}5] = 7 \text{ кВт}.$$

Таким образом, целесообразен второй вариант, так как при замене электродвигателем $P_н = 55$ кВт снижение потерь активной мощности составляет $(7{,}8 - 7{,}0)/7{,}8 = 0{,}102$, или 10,2 %.

Замена незагруженных электродвигателей, даже если целесообразность ее подтверждена расчетом, может производиться только после тщательной проверки их соответствия режиму работы производственного механизма.

Переключение недогруженных электродвигателей с треугольника на звезду

Практика показывает, что замена малозагруженных асинхронных электродвигателей не всегда возможна, что обусловлено как конструктивными (электродвигателей, встроенных в рабочие машины, или специальных конструкций), так и производственными особенностями (в связи с относительно частой переналадкой оборудования — при изменении технологического процесса, ассортимента обрабатываемых изделий и т. п.).

В электрических сетях напряжением до 1000 В, где асинхронные электродвигатели, работающие с коэффициентом

нагрузки не выше 35—40 %, нормально включены по схеме треугольника, эффективным является переключение их на звезду.

Ввиду уменьшения максимального вращающего момента электродвигателя в три раза при переключении необходимо производить проверку по условию устойчивости нагрузки электродвигателя $K_{нг.пр} = \lambda/4{,}5$, где $\lambda = M_{макс}/M_н$ — кратность максимального момента электродвигателя (принимается по каталогу).

Для определения эффективности переключения можно использовать данные табл. 8.

8. Данные эффективности переключения электродвигателя с треугольника на звезду

$\cos\varphi_н$	Отношение $\cos\varphi_Y / \cos\varphi_\Delta$ при коэффициенте нагрузки $K_{нг}$								
	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
0,78	1,94	1,87	1,80	1,72	1,64	1,56	1,49	1,42	1,35
0,79	1,90	1,83	1,76	1,68	1,60	1,53	1,46	1,39	1,32
0,80	1,86	1,80	1,73	1,65	1,58	1,50	1,43	1,37	1,30
0,81	1,82	1,76	1,70	1,62	1,55	1,47	1,40	1,34	1,28
0,82	1,78	1,72	1,67	1,59	1,52	1,44	1,37	1,31	1,26
0,83	1,75	1,69	1,64	1,56	1,49	1,41	1,35	1,29	1,24
0,84	1,72	1,66	1,61	1,53	1,46	1,38	1,32	1,26	1,22
0,85	1,69	1,63	1,58	1,50	1,44	1,36	1,30	1,24	1,20
0,86	1,66	1,60	1,55	1,47	1,41	1,34	1,27	1,22	1,18
0,87	1,63	1,57	1,52	1,44	1,38	1,31	1,24	1,20	1,16
0,88	1,60	1,54	1,49	1,41	1,35	1,28	1,22	1,18	1,14
0,89	1,57	1,51	1,46	1,38	1,32	1,25	1,19	1,16	1,12
0,90	1,57	1,48	1,43	1,35	1,29	1,22	1,17	1,14	1,10
0,91	1,54	1,44	1,40	1,32	1,26	1,19	1,14	1,11	1,08
0,92	1,50	1,40	1,36	1,28	1,23	1,16	1,11	1,08	1,06

Продолжение табл. 8

$K_{нг}$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
η_Y/η_Δ	1,27	1,14	1,10	1,06	1,04	1,02	1,01	1,005	1,00

Пример 8. Асинхронный электродвигатель типа 4А160S4У3 на 380/660 В, работающий от сети 380 В при коэффициенте нагрузки $K_{нг} = 0{,}25$, переключен на звезду.

Каталожные данные электродвигателя: $P_н = 15$ кВт, $\eta_н = 88{,}5$ %, $\eta_{0,25} = 86$ %, $\cos\varphi_н = 0{,}88$, $\cos\varphi_{0,25} = 0{,}63$, $\lambda = M_{макс}/M_н = 2{,}3$.

При переключении на звезду эксплуатационный КПД согласно данным табл. 8 повысится до величины $\eta_Y = 1{,}06 \cdot 0{,}86 = 0{,}933$, а эксплуатационный $\cos\varphi$ согласно таблице — $\cos\varphi_Y = 1{,}41 \cdot 0{,}63 = 0{,}9$.

Таким образом, потери активной мощности в электродвигателе уменьшатся на 0,25 15 [1 (0,86 — 1) 0,933] = 0,375 кВт, или на 5,7 %, а потребление реактивной мощности — на [0,25 15/0,86] 1,23 — — [0,25 15/0,933] 0,48 = 3,43 квар, или на 64 %.

Приведенный пример показывает, какого существенного снижения потерь активной и реактивной мощности можно достичь при переключении резко недогруженного асинхронного электродвигателя с треугольника на звезду.

Установка автоматических ограничителей холостого хода

Установка ограничителей холостого хода на станках, имеющих межоперационное время (время холостого хода) 10 с и более, всегда приводит к экономии электроэнергии.

Размер экономии и экономическую целесообразность применения ограничителей холостого хода можно определить с помощью диаграммы, приведенной на рис. 8. Предварительно необходимо иметь следующие данные: средние потери мощности в системе электропривода за период вспомогательного времени (путем замера нагрузки привода в режиме холостого хода) P_o ; номинальную мощность электродвигателя $P_н$; продолжительность вспомогательного времени $T_{всп}$; число циклов в час z; номинальный коэффициент мощности электродвигателя $\cos \varphi_н$. По этим данным определяются параметры диаграмм a, b (рис. 8, a) и c (рис. 8, б), где $a = P_o / P_н$; $b = 1/4 T_{всп}$; $c = 1{,}5/T_{всп}$.

Часовая экономия активной энергии (кВт·ч)

$$\Delta W_a = Э_a z P_н T_{всп}/3600,$$

где $Э_a$ — показатель эффективности, определяемый по рис. 8, a.

Уменьшение реактивной энергии (квар·ч)

$$\Delta W_р = Э_р z P_н T_{всп}/3600,$$

где $Э_р$ — показатель эффективности ограничителя холостого хода, определяемый по рис. 8, б.

Пример 9. Револьверный станок с электродвигателем $P_н = 5{,}8$ кВт имеет $P_0 = 1{,}25$ кВт. Время холостого хода $T_{всп} = 16$ с, $z = 38$ цикл/ч.

Рассчитываем часовую экономию активной электроэнергии:

$a = P_0 / P_н = 1{,}25/5{,}8 = 0{,}215$, $b = 1/4\ T_{всп} = 1/4\ \ 16 = 0{,}0156$

Из диаграммы рис. 8, a находим $Э_a = 0{,}175$, $\Delta W_a = 0{,}175 \times \times 38 \cdot 5{,}8 \cdot 16/3600 = 0{,}172$ кВт · ч.

Рис. 8 Диаграммы для определения эффективности ограничителей холостого хода

2 Зак 1797

Рассчитываем часовую экономию реактивной энергии:

$c = 1{,}5/T_{всп} = 1{,}5/16 = 0{,}094$; из диаграммы рис. 8, *б* находим $Э_р = 0{,}355$; $\Delta W_р = 0{,}355 \cdot 38 \cdot 5{,}8 \cdot 16/3600 = 0{,}35$ квар · ч.

Влияние качества ремонта электродвигателей на коэффициент мощности

Качество ремонта асинхронных электродвигателей отражается на их технико-экономических показателях (коэффициенте мощности, КПД). Влияние ремонта на коэффициент мощности чаще всего связано с тем или иным изменением обмоточных данных (числа витков в фазе, схемы соединения, величины напряжения, приходящегося на виток, и пр.) и воздушных зазоров.

При перемотке обмотки особенно недопустимо уменьшение числа витков. Так, например, если число витков в фазе уменьшится на 10 % при неизменном сечении фазы, то реактивная мощность и ток холостого хода электродвигателя увеличатся примерно на 25 %. А это вызовет значительное снижение коэффициента мощности, особенно при фактических нагрузках, которые, как правило, намного меньше номинальной мощности электродвигателей. Одновременно снижается и коэффициент полезного действия. Увеличение потерь в стали составляет 21 %.

Таким образом, при восстановительном ремонте обмоток асинхронных электродвигателей необходимо в каждом случае оценивать возможность применения того или иного варианта перемотки с учетом влияния его на технико-экономические показатели электродвигателя.

Магнитное сопротивление воздушного зазора асинхронного электродвигателя составляет 70—80 % полного сопротивления его магнитной цепи. Поэтому можно считать, что на долю воздушного зазора приходится 70—80 % реактивной мощности холостого хода, потребляемой электродвигателем. В связи с этим необходимо строго следить за величиной воздушного зазора. Допустимая величина зазора ряда серий электродвигателей приведена в табл. 9, электродвигателей серий 4А и 4АН — в табл. 40 и 41.

Увеличение зазора на 1 % влечет за собой увеличение тока холостого хода на 0,6 % и снижение коэффициента мощности на 0,3 %. Поэтому если зазор ремонтируемого электродвигателя на 20—25 % больше нормального заводского, то перед ремонтом его обмоточные данные должны

9. Величина зазора между статором и ротором асинхронных электродвигателей

n, об/мин	Зазор, мм, при $P_н$, кВт									
	до 0,2	0,2—1,0	1,0—2,5	2,5—5,0	5,0—10	10—20	20—50	50—100	100—200	200—300
500—1500	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,4	0,5	0,65	0,8	1,0
3000	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5	0,65	0,8	1,0	1,25	1,5

быть пересчитаны. Мощность такого электродвигателя после пересчета практически нельзя довести до паспортной, она будет завышенной. При увеличении воздушного зазора более чем на 25 % экономически нецелесообразно осуществлять ремонт электродвигателя.

Большое влияние на потребление электродвигателем реактивной мощности оказывает значительный сдвиг стали ротора вдоль оси электродвигателя, а также асимметрия воздушных зазоров. Появление сдвига стали ротора вызывает увеличение коэффициента рассеяния, что влечет за собой повышение потребления реактивной мощности и снижение коэффициента мощности.

Для эффективного контроля за величиной коэффициента мощности и КПД отремонтированных электродвигателей необходимо до и после ремонта проверять ток холостого хода и потери активной мощности холостого хода. Критерием для оценки этих величин могут служить нормальные их значения, которые можно определить по методике, приведенной в настоящей главе. Данные этих величин целесообразно указывать в ремонтной карточке эксплуатируемых электродвигателей.

Глава III

РАСЧЕТЫ ОБМОТОК АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ РЕМОНТЕ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В таблицах и формулах данного раздела приняты следующие буквенные обозначения: $U_ф$ — напряжение фазы трехфазной обмотки; $I_ф$ — фазный ток трехфазной обмотки; z_1 — число пазов статора; z_2 — число пазов ротора; m — число фаз; y — шаг обмотки по пазам; n — полное число проводников в пазу; q — число пазов на полюс и фазу; a — число параллельных ветвей; d — диаметр круглого провода без изоляции; D — диаметр круглого провода с изоляцией; a, b — размеры сечения прямоугольного провода без изоляции; r — сопротивление обмотки (фазы) при 15 °С; M — масса провода обмотки; $l_{ср}$ — средняя длина витка; D_a — наружный диаметр сердечника статора; D_i — внутренний диаметр сердечника статора; l_1 — длина сердечника статора (радиальные вентиляционные каналы отсутствуют); $h_п$ — полная глубина паза; F — площадь паза; $F' = F - (F_{из} - F_{кл})$ — свободная площадь паза, где $F_{из}$ — площадь, занимаемая изоляцией (пазовой коробочкой и прокладками); $F_{кл}$— площадь поперечного сечения клина; N — число эффективных проводников в пазу; $n_{эл}$ — число элементарных (параллельных) проводников; δ — воздушный зазор.

Маркировка выводов обмоток

Начала и концы обмоток асинхронных электродвигателей обозначают в соответствии с ГОСТ 183—74 (табл. 10).

Выводы секционированных обмоток многоскоростных асинхронных электродвигателей, позволяющие изменять число полюсов, имеют следующие обозначения:

$2p=4$	$2p=6$	$2p=8$	$2p=12$
4С1	6С1	8С1	12С1
4С2	6С2	8С2	12С2
4С3	6С3	8С3	12С3

В малых машинах допускается обозначение выводных концов обмоток разноцветными проводами (табл. 11).

10. Обозначение выводов соединения обмоток

Наименование и схемы обмоток	Обозначение выводов	
	начала	конца
Обмотка статора		
Открытая схема (число выводов 6).		
первая фаза	C1	C4
вторая »	C2	C5
третья »	C3	C6
Соединение звездой (число выводов 3 или 4):		
первая фаза	C1	
вторая »	C2	
третья »	C3	
нулевая точка	0	
Соединение треугольником:		
первый зажим	C1	—
второй »	C2	—
третий »	C3	—
Обмотка ротора		
первая фаза	P1	—
вторая »	P2	—
третья »	P3	—
Обмотка статора однофазных машин		
главная	C1	C2
вспомогательная	B1	B2

11. Цветное обозначение выводных концов обмоток асинхронных электродвигателей

Схема соединения обмоток	Число выводов	Вывод	Цвет	
			начала	конца
Трехфазные электродвигатели				
Открытая	6	Первая фаза	Желтый	Желтый с черным
		Вторая »	Зеленый	Зеленый с черным
		Третья »	Красный	Красный с черным
Звездой	3 или 4	Первая »	Желтый	—
		Вторая »	Зеленый	—
		Третья »	Красный	—
		Нулевая точка	Черный	—
Треугольником	3	Первый зажим	Желтый	—
		Второй »	Зеленый	—
		Третий »	Красный	—

Схема соединения обмоток	Число выводов	Вывод	Цвет	
			начала	конца
Однофазные электродвигатели				
	4	Главная обмотка	Красный	Красный с черным
		Вспомогательная обмотка	Синий	Синий с черным
	3	Главная обмотка	Красный	—
		Вспомогательная обмотка	Синий	—
		Общая точка	Черный	—

Нагревостойкость изоляционных материалов. Классы изоляции обмоток

Изоляционные материалы по нагревостойкости подразделяются на семь классов (табл. 12).

12. Классификация электроизоляционных материалов по нагревостойкости

Обозначение класса нагревостойкости	Температура, характеризующая данный класс нагревостойкости, °С	Основные группы электроизоляционных материалов
Y	90	Волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка и натурального шелка, не пропитанные и не погруженные в жидкий электроизоляционный материал
A	105	Волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка и натурального, искусственного или синтетического шелка, в рабочем состоянии пропитанные или погруженные в жидкий электроизоляционный материал
E	120	Синтетические органические материалы (пленки, волокна, смолы, компаунды и т. д.) и другие материалы, которые могут работать при температуре до 120°С
B	130	Материалы на основе слюды (в том числе на органических подложках), асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с органическими связующими и пропитывающими составами

Обозначение класса нагревостойкости	Температура, характеризующая данный класс нагревостойкости, °C	Основные группы электроизоляционных материалов
F	155	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с синтетическими связующими и пропитывающими составами, соответствующими данному классу нагревостойкости
H	180	Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с кремнийорганическими связующими и пропитывающими составами, кремнийорганические эластомеры
C	Свыше 180	Слюда, керамические материалы, стекло, кварц и другие

Нагрев обмоток

Номинальные данные электрических машин соответствуют их работе при температуре газообразной охлаждающей среды 40 °C. Предельно допустимые превышения температуры обмоток над температурой охлаждающей среды при этих условиях должны соответствовать данным табл. 13. При работе машины в условиях, отличающихся от указанных, номинальные данные должны быть изменены (см. ГОСТ 183—74).

Превышение температуры медной обмотки над темпера-

13. Допустимые превышения температур обмоток, определяемые методом сопротивлений

Обмотка	Превышение температуры, °C, при классе изоляции				
	A	E	B	F	H
Переменного тока машин мощностью 5000 кВА и выше или с длиной сердечника 1 м и более	60	70	80	100	125
Переменного тока машин мощностью менее 5000 кВА или с длиной сердечника менее 1 м	60	75	80	100	125

турой охлаждающего воздуха, определяемое методом сопротивлений, рассчитывается по формуле:

$$\theta = t_г - t_0 = \frac{r_г - r_х}{r_х}(235 + t_х) + t_х - t_0,$$

где $t_г$ и $t_х$ — температура обмотки в горячем и холодном состояниях, °С; $r_г$ и $r_х$ — сопротивление обмотки в горячем и холодном состояниях, Ом; t_0 — температура охлаждающего воздуха, °С.

Если обмотка изготовлена из алюминия, то в формуле число 235 следует заменить числом 245.

Характеристика проводниковых материалов

Свойства основных проводниковых материалов приведены в табл. 14.

14. Свойства проводниковых материалов

Материал	Плотность, г/см³	Температура плавления, °С	Предел прочности при растяжении, 10^{-6} Па	Удельное электрическое сопротивление при 20° С, Ом. мм²/м	Температурный коэффициент электрического сопротивления α, град$^{-1}$
Алюминий	2,7	657	80—250	0,028	0,0040
Бронза	8,3—8,9	885—1050	310—1350	0,021—0,052	0,0040
Вольфрам	19,3	3380	1000—3000	0,055	0,0046
Железо	7,8	1535	—	0,098	0,0060
Латунь	8,4—8,7	900—960	300—700	0,031—0,079	0,0020
Молибден	10,2	2620	800—2500	0,057	0,0046
Медь	8,9	1083	270—450	0,0178	0,0040
Никель	8,9	1455	400—700	0,073	0,0065
Олово	7,3	232	20—50	0,12	0,0044
Сталь	7,8	1400—1530	450—1500	0,1—0,2	0,0050

Измеренное при температуре t сопротивление обмотки (медной и алюминиевой) можно привести к расчетным температурам 15 или 20° путем уменьшения его на соответствующий коэффициент:

t, °С	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
K_{15}	1,06	1,04	1,02	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90	0,88
K_{20}	1,08	1,06	1,04	1,02	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90

Примечание. Температурный коэффициент сопротивления α принят равным 0,0041.

Обмоточные провода

При частичной или полной перемотке асинхронных электродвигателей особое внимание уделяется выбору марок обмоточных проводов (табл. 15—21).

15. Провода с эмалевой изоляцией

Марка	Вид изоляции	Нагревостойкость, °С	Диаметр (размеры) без изоляции, мм
1	2	3	4
ПЭЛ	Эмаль на масляно-смоляной основе	105	0,02—2,44
ПЭВ-1	Высокопрочная эмаль на поливинилацеталевой основе	105	0,02—2,44
ПЭВ-2	То же, но с увеличенной толщиной	105	0,06—2,44
ПЭМ-1	Высокопрочная эмаль на поливинилформалевой основе	105	0,05—2,50
ПЭМ-2	То же, но с увеличенной толщиной	105	0,05—2,50
ПЭЛР-1	Высокопрочная эмаль на полиамиднорезольной основе	105	0,1—2,44
ПЭЛР-2	То же, но с увеличенной толщиной	105	0,1—2,44
ПЭВП	Высокопрочная эмаль „винифлекс", провод прямоугольный*	105	a=0,5—2,83 $в$=2,1—8,8
ПЭВТЛ-1	Высокопрочная эмаль на полиуретановой основе	120	0,05—1,56
ПЭВТЛ-2	То же, но с увеличенной толщиной	120	0,05—1,56
ПЭТВ-943	Высокопрочная эмаль на полиэфирной основе (лак П-943)	130	0,06—2,44
ПЭТВ-939	То же	130	0,06—2,44
ПЭТВ-ТС	»	130	0,06—2,44
ПЭТВ-F	»	130 155	0,06—2,44 0,06—2,44
ПЭТВП	То же, провод прямоугольный*	130	a=0,80—3,55 $в$=2,00—12,5
ПЭТ-155	Высокопрочная эмаль на полиэфироимидной основе	155	0,06—2,50
ПНЭТ-имид	Высокопрочная эмаль на полиимидной основе, жила никелированная	200	0,1—1,3
ПЭВАт**	Высокопрочная эмаль „винифлекс", жила из твердой (неотожженной) алюминиевой проволоки	105	0,08—0,59

1	2	3	4
ПЭВА**	То же, но из отожженной проволоки	105	0,51—2,44
ПЭТВА**	Полиэфирный лак	130	0,14—0,20
ПЭТА**	Нагревостойкий полиимидный лак	220	0,08—2,44

* *а* и *в* — стороны сечения прямоугольного провода.
** С алюминиевой жилой.

16. Провода с волокнистой и стекловолокнистой изоляцией

Марка	Вид изоляции	Нагревостойкость, °С	Размеры провода без изоляции, мм	
			круглого	прямоугольного
1	2	3	4	5
ПБД	Два слоя из хлопчатобумажной пряжи	105	0,38—5,2	*а*=0,9—5,5 *в*=2,1—15
ПЛД	Два слоя из лавсанового волокна	120	0,38—1,3	—
ПЛБД	Один слой из лавсанового волокна и один из хлопчатобумажной пряжи	105	0,38—5,2	*а*=0,9—5,5 *в*=2,1—14,5
ПШД	Два слоя из натурального шелка	105	—	*а*=0,8—1,35 *в*=3,53—4,7
АПБД*	Два слоя из хлопчатобумажной пряжи	105	1,35—8	*а*=1,81—7,0 *в*=4,1—18
АПЛБД*	Один слой из лавсанового волокна и один слой из хлопчатобумажной пряжи	105	1,35—8	*а*=1,81—7,0 *в*=4,1—18
ПСД, ПСД-Л**	Два слоя из стекловолокна с пропиткой каждого слоя нагревостойким лаком	155	0,31—5,2	*а*=0,9—5,0 *в*=2,1—12,5

1	2	3	4	5
ПСДТ, ПСДТ-Л**	Два слоя из утоненного стекловолокна с пропиткой каждого слоя нагревостойким лаком	155	0,31—2,0	—
ПСДК, ПСДК-Л**	Два слоя из стекловолокна с пропиткой каждого слоя кремнийорганическим лаком	180	0,31—5,2	—
ПСДКТ, ПСДКТ-Л**	Два слоя из утоненного стекловолокна с пропиткой каждого слоя кремнийорганическим лаком	180	0,31—2,1	а=0,9—3,55 в=2,1—10
ПЭТКСОТ	Слой кремнийорганической эмали и обмотка из утоненного стекловолокна с пропиткой кремнийорганическим лаком	180	0,33—1,56	а=0,83—1,45 в=2,1—4,7
ПНЭТКСОТ	Слой полиимидной эмали и обмотка из утоненного стекловолокна спропиткой кремнийорганическим лаком, жила никелированная	220	0,20 и 0,31	—

* С алюминиевой жилой.
** С дополнительной лакировкой поверхности провода.

17. Провода с эмалеволокнистой изоляцией

Марка	Вид изоляции	Нагревостойкость, °С	Диаметр без изоляции, мм
1	2	3	4
ПЭЛБО	Эмаль на масляно-смоляной основе и один слой обмотки из хлопчатобумажной пряжи	105	0,38—2,1
ПЭЛБД	То же, но два слоя обмотки из хлопчатобумажной пряжи	105	0,93—2,1

1	2	3	4
ПЭВБД	Эмаль „винифлекс" и два слоя обмотки из хлопчатобумажной пряжи	105	0,93—2,1
ПЭЛШО	Эмаль на масляно-смоляной основе и один слой обмотки из натурального шелка	105	0,05—1,56
ПЭЛШКО	Эмаль на масляно-смоляной основе и один слой обмотки из капроновых нитей	105	0,1—1,56
ПЭЛШКД	То же, но два слоя обмотки из капроновых нитей	105	0,72—1,45
ПЭВШО	Эмаль „винифлекс" и один слой обмотки из натурального шелка	105	0,2—1,5
ПЭЛЛО	Эмаль на масляно-смоляной основе и один слой обмотки из лавсановых нитей	105	0,05—1,3
ПЭВЛО	Эмаль „винифлекс" или „металвин" и один слой обмотки из лавсанового волокна	105	0,06—1,3
ПЭТЛО	Эмаль повышенной нагревостойкости и один слой обмотки из лавсанового волокна	130	0,2—1,3

18. Размеры круглой проволоки для обмоточных проводов (*d* — диаметр, *S* — сечение)

d, мм	*S*, мм²	*d*, мм	*S*, мм²	*d*, мм	*S*, мм²
0,02	0,000314	0,355	0,099	1,04	0,849
0,03	0,000707	0,38	0,113	1,06	0,882
0,04	0,00126	0,40	0,126	1,08	0,916
0,05	0,00196	0,41	0,132	1,12	0,985
0,06	0,00283	0,44	0,152	1,16	1,06
0,063	0,00312	0,45	0,159	1,18	1,09
0,07	0,00385	0,47	0,173	1,20	1,13
0,071	0,00396	0,49	0,189	1,25	1,23
0,08	0,00503	0,50	0,196	1,30	1,33
0,09	0,00636	0,51	0,204	1,32	1,37
0,10	0,00785	0,53	0,221	1,35	1,43
0,11	0,0095	0,55	0,238	1,40	1,54
0,112	0,00985	0,56	0,246	1,45	1,65
0,12	0,0113	0,57	0,255	1,50	1,77
0,125	0,0123	0,59	0,273	1,56	1,91
0,13	0,0133	0,62	0,302	1,60	2,01
0,14	0,0154	0,63	0,312	1,62	2,06
0,15	0,0177	0,64	0,322	1,68	2,22

d, мм	*S*, мм²	*d*, мм	*S*, мм²	*d*, мм	*S*, мм²
0,16	0,0201	0,67	0,353	1,70	2,27
0,17	0,0227	0,69	0,374	1,74	2,38
0,18	0,0254	0,71	0,396	1,80	2,54
0,19	0,72	0,407	1,81	1,81	2,57
0,20	0,74	0,430	1,88	1,88	2,78
0,21	0,75	0,442	1,90	1,90	2,84
0,224	0,77	0,466	1,95	1,95	2,99
0,23	0,80	0,503	2,00	2,00	3,14
0,25	0,83	0,541	2,02	2,02	3,20
0,27	0,85	0,567	2,10	2,10	3,46
0,28	0,86	0,581	2,12	2,12	3,53
0,29	0,90	0,636	2,24	2,24	3,94
0,31	0,93	0,679	2,26	2,26	4,01
0,315	0,95	0,709	2,36	2,36	4,37
0,33	0,96	0,724	2,44	2,44	4,68
0,35	1,00	0,785	2,50	2,50	4,91

19. Диаметры проводов с эмалевой изоляцией

Диаметр проволоки, мм	Максимальный диаметр провода, мм				Диаметр проволоки, мм	Максимальный диаметр провода, мм		
	ПЭЛ	ПЭВ-1, ПЭВТЛ-1	ПЭВ-2, ПЭТВ*, ПЭВТЛ-2	ПЭВА, ПЭВАт		ПЭМ-1	ПЭМ 2	ПЭТ-155
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,020	0,035	0,035	—	—	0,050	0,070	0,080	—
0,025	0,040	0,040	—	—	0,060	0,085**	0,090**	0,90
0,030	0,045	0,045	—	—	0,063	0,088	0,093	—
0,040	0,055	0,055	—	—	0,070	0,095**	0,100**	0,10
0,050	0,065	0,070	0,080	—	0,071	0,095	0,101	—
0,060	0,075	0,085	0,090	—	0,080	0,105	0,110	0,11
0,070	0,085	0,095	0,100	—	0,090	0,115	0,120	0,12
0,080	0,095	0,105	0,110	0,105	0,100	0,125	0,130	0,13
0,090	0,105	0,115	0,120	0,115	0,110	0,135**	0,140**	0,14**
0,100	0,120	0,125	0,130	0,125	0,112	0,137	0,142	0,14
0,110	0,130	0,135	0,140	0,135	0,120	0,145**	0,150**	0,15
0,120	0,140	0,145	0,150	0,145	0,125	0,150	0,155	—
0,130	0,150	0,155	0,160	0,155	0,130	0,155**	0,160**	0,16**
0,140	0,160	0,165	0,170	0,165	0,140	0,165	0,170	0,17
0,150	0,170	0,180	0,190	0,180	0,150	0,180**	0,190**	0,19**
0,160	0,180	0,190	0,200	0,190	0,160	0,190	0,200	0,20
0,170	0,190	0,200	0,210	0,200	0,170	0,200	0,210**	0,21**
0,180	0,200	0,210	0,220	0,210	0,180	0,210	0,220	0,22

1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,190	0,210	0,220	0,230	0,220	0,190	0,220**	0,230**	0,23**
0,200	0,225	0,230	0,240	0,230	0,200	0,230	0,240	0,24
0,210	0,235	0,240	0,250	0,240	0,210	0,240**	0,250**	0,26**
0,230	0,255	0,270	0,280	0,270	0,224	0,254	0,264	0,27
0,250	0,275	0,290	0,300	0,290	0,230	0,270**	0,280**	0,28**
0,270	0,310	0,310	0,320	0,310	0,250	0,290	0,300	0,30
0,290	0,330	0,330	0,340	0,330	0,270	0,310**	0,320**	0,32**
0,310	0,350	0,350	0,360	0,350	0,280	0,320	0,330	0,33
0,330	0,370	0,370	0,380	0,370	0,290	0,330**	0,340**	0,34**
0,350	0,390	0,390	0,410	0,390	0,310	0,350**	0,360**	0,36
0,380	0,420	0,420	0,440	0,430	0,315	0,355	0,365	—
0,410	0,450	0,450	0,470	0,460	0,330	0,370**	0,380**	0,38**
0,440	0,490	0,480	0,500	0,490	0,350	0,390**	0,410**	0,40
0,470	0,520	0,510	0,530	0,520	0,355	0,395	0,415	—
0,490	0,540	0,530	0,550	0,540	0,380	0,420**	0,440**	0,44**
0,510	0,560	0,560	0,580	0,570	0,400	0,440	0,460	0,46
0,530	0,580	0,580	0,600	0,590	0,410	0,450**	0,470**	0,47**
0,550	0,600	0,600	0,620	0,610	0,440	0,480**	0,500**	0,51**
0,570	0,620	0,620	0,640	0,630	0,450	0,490	0,510	0,52
0,590	0,640	0,640	0,660	0,650	0,470	0,510**	0,530**	0,54**
0,620	0,670	0,670	0,690	0,670	0,490	0,530**	0,550**	0,56**
0,640	0,690	0,690	0,720	0,700	0,500	0,550	0,570	0,57
0,670	0,720	0,720	0,750	0,730	0,510	0,560**	0,580**	0,58**
0,690	0,740	0,740	0,770	0,750	0,530	0,580**	0,600**	0,60**
0,720	0,780	0,770	0,800	0,780	0,550	0,600**	0,620**	0,62**
0,740	0,800	0,800	0,830	0,810	0,560	0,610	0,630	0,63
0,770	0,830	0,830	0,860	0,840	0,570	0,620**	0,640**	0,64**
0,800	0,860	0,860	0,890	0,870	0,590	0,640**	0,660	0,66**
0,830	0,890	0,890	0,920	0,900	0,620**	0,670**	0,690**	0,70**
0,860	0,920	0,920	0,960	0,950	0,630**	0,680**	0,700	0,71
0,900	0,960	0,960	0,990	0,970	0,640	0,690**	0,720**	0,72**
0,930	0,990	0,990	1,020	1,000	0,670	0,720**	0,750**	0,75**
0,960	1,020	1,020	1,050	1,030	0,690	0,740**	0,770**	0,77**
1,000	1,070	1,080	1,110	1,090	0,710	0,760	0,790	0,79
1,040	1,120	1,120	1,150	1,130	0,720	0,770**	0,800**	0,80
1,080	1,160	1,160	1,190	1,170	0,740	0,800**	0,830**	0,82**
1,120	1,200	1,200	1,230	1,210	0,750	0,810	0,840	0,83
1,160	1,240	1,240	1,270	1,250	0,770	0,830**	0,860**	0,85**
1,200	1,280	1,280	1,310	1,290	0,800	0,860	0,890	0,89
1,250	1,330	1,330	1,360	1,340	0,830	0,890**	0,920**	0,92**
1,300	1,380	1,380	1,410	1,390	0,850	0,910	0,940	0,94
1,350	1,430	1,430	1,460	1,440	0,860	0,920**	0,950**	0,95**
1,400	1,480	1,480	1,510	1,490	0,900	0,960	0,990	0,99
1,450	1,530	1,530	1,560	1,540	0,930	0,990**	1,020**	1,02**
1,500	1,580	1,580	1,610	1,590	0,950	1,010	1,040	1,04
1,560	1,640	1,640	1,670	1,650	0,960	1,020**	1,050**	1,05**
1,620	1,710	1,700	1,730	1,720	1,000	1,080	1,110	1,09
1,680	1,770	1,760	1,790	1,780	1,040	1,120	1,150	1,14**

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,740	1,830	1,820	1,850	1,840	1,060	1,140	1,170	1,16
1,810	1,900	1,900	1,930	1,920	1,080	1,160**	1,190**	1,18**
1,880	1,970	1,970	2,000	1,990	1,120	1,200	1,230	1,22
1,950	2,040	2,040	2,070	2,060	1,160	1,240**	1,270**	1,26**
2,020	2,120	2,110	2,140	2,130	1,180	1,260	1,290	1,28
2,100	2,200	2,200	2,230	2,210	1,200	1,280**	1,310**	1,30**
2,26	2,360	2,360	2,390	2,370	1,250	1,330	1,360	1,35
2,44	2,540	2,540	2,570	2,550	1,300	1,380**	1,410**	1,40**

Продолжение табл. 19

Диаметр проволоки, мм	Максимальный диаметр провода, мм			Диаметр проволоки, мм	Максимальный диаметр провода, мм		
	ПЭМ-1	ПЭМ-2	ПЭТ-155		ПЭМ-1	ПЭМ-2	ПЭТ-155
1,320	1,400	1,430	1,42	1,880	1,970*	2,000*	2,00*
1,350	1,430*	1,460*	1,45*	1,900	1,990	2,020	2,02
1,400	1,480	1,510	1,51	1,950	2,040*	2,070*	2,07*
1,450	1,530*	1,560*	1,56	2,000	2,090	2,120	2,12
1,500	1,580	1,610	1,61	2,020	2,110*	2,140*	2,14*
1,560	1,640*	1,670*	1,67*	2,100	2,200*	2,230*	2,22*
1,600	1,680	1,710	1,71	2,120	2,220	2,250	2,24
1,620	1,700*	1,730*	1,73*	2,240	2,340	2,370	2,37
1,680	1,760*	1,790*	1,79*	2,260	2,350*	2,390*	2,39*
1,700	1,780	1,810	1,81	2,360	2,460	2,490	2,49
1,740	1,820*	1,850*	1,85*	2,440	2,540*	2,570*	2,57*
1,800	1,890	1,910	1,92	2,500	2,600	2,630	2,63
1,810	1,900*	1,930*	1,93*				

* Марки ПЭТВ-943, ПЭТВ-939, ПЭТВ-ТС, ПЭТВ-F.
** В новых разработках применять не разрешается.

20. Диаметральная (двусторонняя) толщина стекловолокнистой изоляции круглых проводов, мм

Диаметр проволоки, мм	ПСД, ПСДК	ПСД-Л, ПСДК-Л	ПСДТ	ПСДТ-Л	ПСДКТ	ПСДКТ-Л
0,31—0,49	0,23	0,25	0,18	0,20	0,14	0,16
0,51—0,69	0,25	0,27	0,19	0,21	0,16	0,18
0,72—0,96	0,25	0,27	0,20	0,22	0,16	0,18
1,00—1,56	0,27	0,29	0,21	0,23	0,18	0,20
1,62—1,74	0,27	0,29	0,21	0,25	0,22	0,24
1,81—2,10	0,27	0,29	0,23	0,25	0,22	0,24
2,26—5,20	0,33	0,35	—	—	—	—

21. Диаметральная (двусторонняя) толщина эмалевоволокнистой и волокнистой изоляции круглых проводов, мм

Диаметр проволоки, мм	ПЭЛШО, ПЭЛЛО*	ПЭВЛО	ПЭЛБО	ПБД	АПБД
0,05	0,08	—	—	—	—
0,06—0,14	0,08	0,09	—	—	—
0,15—0,19	0,08	0,10	—	—	—
0,20—0,21	0,09	0,11	—	—	—
0,23—0,25	0,09	0,12	—	—	—
0,27—0,33	0,11	0,12	—	—	—
0,35	0,11	0,13	—	—	—
0,38—0,41	0,11	0,13	0,17	0,22	—
0,44—0,49	0,12	0,13	0,17	0,22	—
0,51—0,62	0,12	0,14	0,17	0,22	—
0,64—0,69	0,12	0,15	0,17	0,22	—
0,72—0,96	0,13	0,15	0,18	0,22	—
1,00—1,30	0,14	0,17	0,21	0,27	—
1,35—1,45	0,14	—	0,21	0,27	0,27
1,50—1,56	0,16	—	0,21	0,27	0,27
1,62—2,10	—	—	0,22	0,27	0,27
2,26—5,20	—	—	—	0,33	0,33
6,00—8,00	—	—	—	—	0,33

* Изготовляются с проволокой диаметром 0,05 — 1,30 мм.

Толщина изоляции прямоугольных проводов ($B - b$) (рис. 9) определяется в зависимости от размера проволоки по стороне a (табл. 22, 23), толщина изоляции ($A - a$) зависит от размера b.

22. Толщина хлопчатобумажной изоляции проводов

Марка провода	Толщина изоляции (B — в), мм, при размере меньшей стороны сечения проволоки *a*, мм				
	0,9—1,68	1,81—1,95	2,1—3,8	4,1—5,5	6,0—7,0
ПБД	0,27	0,27	0,33	0,44	—
АПБД	—	0,27	0,33	0,44	0,47

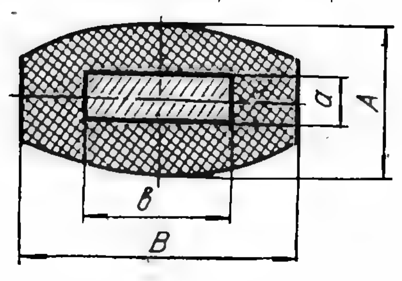


Рис. 9. Размеры прямоугольного обмоточного провода с хлопчатобумажной и стекловолокнистой изоляцией

23. Толщина стекловолокнистой изоляции проводов

Марка провода	Толщина изоляции (B — в), мм, при размере меньшей стороны сечения проволоки *a*, мм		
	0,90—2,00	2,10—3,80	4—5,60
ПСД, ПСДК	0,27	0,33	0,40
ПСД-Л, ПСДК-Л	0,27	0,35	0,42
ПСДКТ	0,22	0,22	—
ПСДКТ-Л	0,24	0,24	—

Продолжение табл. 23

Марка провода	Толщина изоляции (*A* — *a*), мм, при размере большей стороны сечения проволоки *b*, мм						
	2,10—2,50	2,63—3,35	3,53—4,50	4,70—5,60	5,90—7,10	7,4—8,0	8,5—12,5
ПСД, ПСДК, ПСД-Л	0,32	0,36	0,39	0,42	0,44	0,46	0,48
ПСДК-Л	0,34	0,38	0,41	0,44	0,46	0,48	0,50
ПСДКТ	0,26	0,28	0,28	0,30	0,30	0,32	0,32
ПСДКТ-Л	0,28	0,30	0,30	0,32	0,32	0,34	0,34

24. Номинальные размеры *a*, *b* проволоки и максимальные размеры провода по изоляции А, В

a, мм	*A*, мм	*в*, мм	*B*, мм, при размере *a*, мм		
			0,8—1,18	1,25—2,00	2,12—3,55
0,8	*a*+0,14	2,00—4,50	*в*+0,16	*в*+0,17	*в*+0,18
0,85—1,12	*a*+0,15	2,75—9,00	*в*+0,19	*в*+0,20	*в*+0,21
1,18—2,00	*a*+0,16	9,5—12,5	—	*в*+0,20	*в*+0,21
2,12—3,15	*a*+0,18	—	—	—	—
3,35—3,55	*a*+0,19	—	—	—	—

Выбор основных величин обмоток при ремонте

Шаги двухслойных обмоток статора асинхронных электродвигателей берут из табл. 25.

Шаг двухслойных обмоток принимают укороченным:

$$y = \beta z_1/2p,$$

где β — укорочение шага; z_1 — число пазов статора; $2p$ — число полюсов.

25. Шаги двухслойных обмоток статора электродвигателей

2p	y при числе пазов статора z_1							
	24	36	45	48	54	60	72	75
2	8,9	10,13	—	15,17	—	—	—	—
4	—	7	—	9,10	—	12,13	—	—
6	—	5	6,7	—	7,8	—	9,10	—
8	—	4	—	5	6	6,7	7	—
10	—	—	—	—	—	5,0	—	6,7

Примечание. Двухслойные обмотки применяют в трехфазных электродвигателях единых серий при наружном диаметре статора >200—250 мм, при меньших диаметрах обычно используют однослойные обмотки.

Для многополюсных обмоток обычно $\beta = 0{,}83$, для двухполюсных $\beta = 0{,}61$—$0{,}75$ (в отдельных случаях его уменьшают до 0,56, чтобы облегчить укладку и уменьшить вылет лобовой части обмотки).

Полюсное деление (см) — часть длины окружности расточки статора, приходящейся на один полюс,— определяется по формуле:

$$\tau = 3{,}14 D_i / 2p,$$

где D_i — внутренний диаметр статора, см.

Число параллельных ветвей a и элементарных (параллельных) проводников $n_{эл}$ обмотки статора асинхронного электродвигателя зависит от его мощности и напряже-

26. Значения a и $n_{эл}$ в сериях асинхронных электродвигателей

2p	При D_a, см									
	до 15		15—20		20—25		25—35		35—50	
	a	$n_{эл}$	a	$n_{эл}$	a	$n_{эл}$	a	$n_{эл}$	a	$n_{эл}$
2	1	1	1	1—3	1,2	2—4	2	2—4	2	3—11
4	1	1	1	1,2	1	1—3	1,2	1—3	2;4	2—5
6	1	1	1	1,2	1	1—3	1,2	1—3	2,3	2—5
8	—	—	—	—	—	—	1,2	1—3	2,4	2—4
10	—	—	—	—	—	—	—	—	2	2—4

Примечания: 1. Бо́льшие значения a и $n_{эл}$ выбирают при меньшем напряжении и большей длине сердечника.

2. Окончательные значения a и $n_{эл}$ уточняются после выбора диаметра провода и проверки размещения обмотки в пазу.

ния. Для предварительного выбора этих чисел можно использовать их зависимость от наружного диаметра D_a статора (табл. 26).

Обмоточный коэффициент $K_{об}$ трехфазных однослойных обмоток определяется числом пазов на полюс и фазу q (табл. 27), двухслойных — также и шагом y (табл. 28).

27. Обмоточные коэффициенты трехфазной однослойной шестизонной обмотки со сплошной фазной зоной

q	$K_{об}$	q	$K_{об}$
1,0	1,000	4,0	0,958
1,5	0,960	4,5	0,955
2,0	0,966	5,0	0,957
2,5	0,957	6,0	0,957
3,0	0,960	8,0	0,956
3,5	0,956	—	—

При ремонте обмоток и предварительном выборе диаметра провода используют коэффициент заполнения паза, определяемый как отношение площади изолированных проводников к площади паза:

$K_п = 0{,}785\,\pi D^2/F.$

Величина его (табл. 29) зависит от формы паза и типа обмотки.

Диаметр провода d без изоляции зависит от размеров машины:

D_a, см	до 15	15—25	25—35	35—50
d, мм	0,49—1,25	0,67—1,56	1,0—1,62	1,16—1,95

Диаметр изолированного провода должен быть меньше ширины шлица (прорези) паза на 1—1,5 мм.

При выборе диаметра провода следует по возможности принимать размеры, которые рекомендованы стандартами для новых разработок (см. табл. 19).

Полное число проводников в пазу определяется по формуле:

$n = n_{эл} N,$

где N — число эффективных проводников в пазу.

При пересчете обмоток индекс «ст» присваивается старой обмотке, индекс «нов» — новой (после перемотки): $U_{ст}$, $U_{нов}$, $N_{ст}$, $N_{нов}$ и т. д.

Площади пазов (мм²) определяются по следующим фор-

28. Обмоточные коэффициенты трехфазной двухслойной шестизонной обмотки

q	$K_{об}$ при шаге обмотки по пазам															
	1—3	1—4	1—5	1—6	1—7	1—8	1—9	1—10	1—11	1—12	1—13	1—14	1—15	1—16	1—17	1—18
1	0,866	1,000	0,866	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$1^1/_2$	—	0,831	0,945	0,945	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	0,836	0,933	0,966	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$2^1/_4$	—	—	—	0,877	0,941	0,954	0,915	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$2^1/_2$	—	—	—	0,827	0,907	0,950	0,950	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	0,831	0,902	0,945	0,960	—	—	—	—	—	—	—	—
$3^1/_2$	—	—	—	—	—	0,831	0,884	0,930	0,953	0,953	—	—	—	—	—	—
4	—	—	—	—	—	—	0,831	0,885	0,926	0,950	0,958	—	—	—	—	—
$4^1/_2$	—	—	—	—	—	—	—	0,827	0,877	0,916	0,940	0,954	0,954	—	—	—
5	—	—	—	—	—	—	—	—	0,829	0,875	0,910	0,935	0,951	0,957	—	—
$5^1/_2$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,827	0,869	0,902	0,928	0,945	0,954	0,954
6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,828	0,866	0,900	0,925	0,942	0,952
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,719	0,758	0,794	0,828	0,876

20. Величина коэффициента $K_п$

Обмотка	Паз	$K_п$ при мощности, кВт		
		до 1	1—10	10—100
Однослойная	Трапецеидальный (рис. 10, *а*, *б*, *г*)	0,37	0,40	0,43
	Грушевидный (рис. 10, *в*)	0,42	0,46	0,50
Двухслойная	Трапецеидальный (рис. 10, *а*, *б*, *г*)	0,86	0,37	0,40
	Грушевидный (рис. 10, *в*)	0,37	0,40	0,43

мулам: трапецеидальный паз со скругленной частью под клин (рис. 10, *а*)

$$F_а = 1{,}57r_1^2 + 0{,}5\,(h_1 - r_1)\,(b_1 + b_2);$$

трапецеидальный паз (рис. 10, б)

$$F_б = 0{,}5h_2(b_1 + b_3) + 0{,}5\,(h_1 - r_1)\,(b_1 + b_2);$$

грушевидный паз (рис. 10, в)

$$F_в = 1{,}57\,(r_1^2 + r_2^2) + 0{,}5\,(h_1 - r_1)\,(b_1 + b_2);$$

трапецеидальный паз со скругленной частью под клин и скруглениями на дне паза (рис. 10, *г*)

$$F_г = 1{,}57\,(r_1^2 + r_2^2) + 0{,}5\,(h_1 - r_1)\,(b_1 + b_2) + r_2\,(h_2 - 2r_2).$$

С достаточной для практических расчетов точностью площадь трапецеидального паза можно определить по рис. 11. Площади пазов (рис. 10, *а*, *б*) принимают одинаковыми.

При пересчете обмоток в тех случаях, когда известны данные старой обмотки (число проводников в пазу *n*, диаметр *d*, марка провода), для проверки размещения новой обмотки в пазу используют формулу:

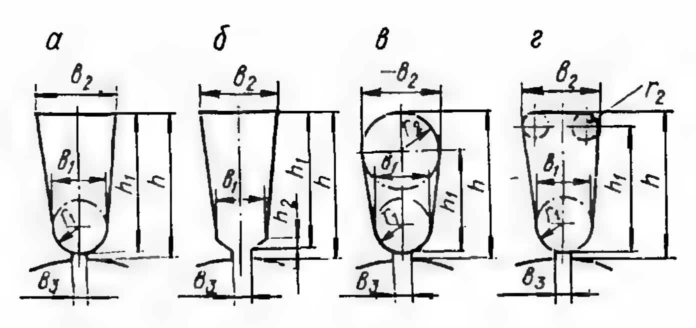


Рис. 10. Формы пазов статора для всыпных обмоток.

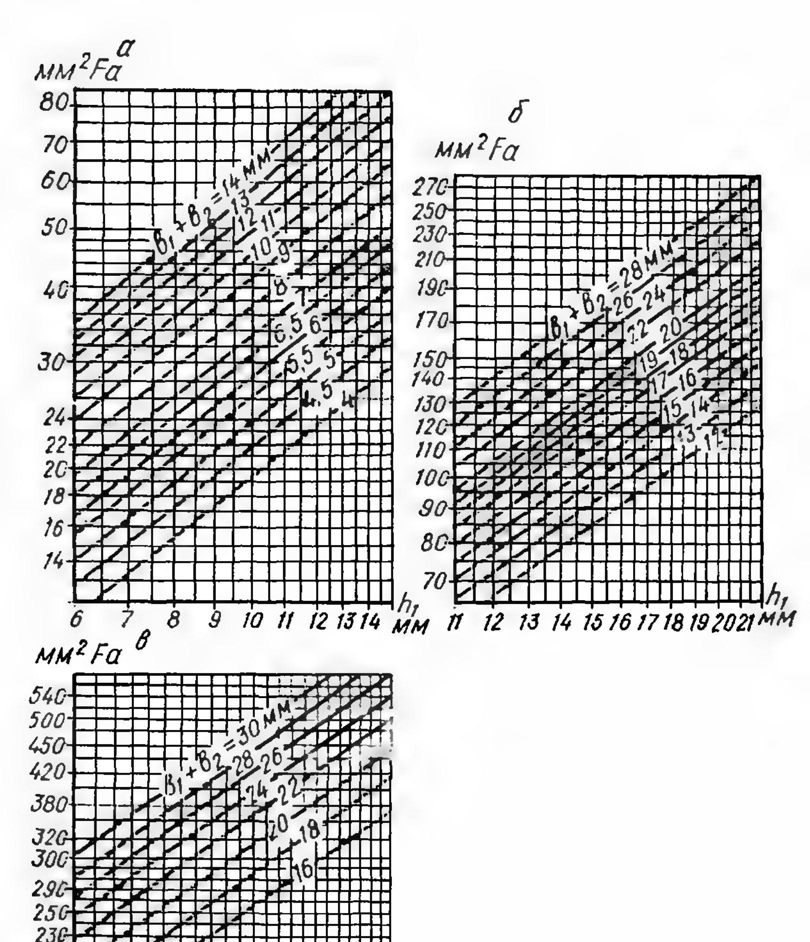


Рис. 11. Площади паза при высоте его:

а — до 14 мм; *б* — от 14 до 22 мм; *в* — свыше 22 мм

$$n_{\text{нов}} D^2_{\text{нов}} \leqslant n_{\text{ст}} D^2_{\text{ст}},$$

где $n_{\text{нов}}$ и $D_{\text{нов}}$ — число проводников в пазу и диаметр изолированного провода новой обмотки, мм; $n_{\text{ст}}$, $D_{\text{ст}}$ — то же старой обмотки.

При сравнении заполнения паза старой и новой обмот-

30. Квадраты чисел

Целая часть и десятые доли числа	Квадраты числа при сотых долях									
	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,2	0,0400	0,0441	0,0484	0,0529	0,0576	0,0625	0,0676	0,0729	0,0784	0,0841
0,3	0,0900	0,0961	0,1024	0,1089	0,1156	0,1225	0,1296	0,1389	0,1444	0,1521
0,4	0,1600	0,1680	0,1760	0,1850	0,1940	0,2020	0,2120	0,2210	0,2300	0,2400
0,5	0,2500	0,2600	0,2700	0,2810	0,2920	0,3020	0,3140	0,3250	0,3360	0,3480
0,6	0,3600	0,3720	0,3840	0,3970	0,4100	0,4220	0,4360	0,4490	0,4620	0,4760
0,7	0,4900	0,5040	0,5180	0,5330	0,5480	0,5620	0,5780	0,5930	0,6080	0,6240
0,8	0,6400	0,6560	0,6720	0,6890	0,7060	0,7220	0,7400	0,7570	0,7740	0,7920
0,9	0,8100	0,8280	0,8460	0,8650	0,8840	0,9020	0,9220	0,9410	0,9600	0,9800
1,0	1,0000	1,0200	1,0400	1,0600	1,0800	1,1000	1,1200	1,1400	1,1700	1,1900
1,1	1,2100	1,2300	1,2500	1,2800	1,3000	1,3200	1,3500	1,3700	1,3900	1,4200
1,2	1,4400	1,4600	1,4900	1,5100	1,5400	1,5600	1,5900	1,6100	1,6400	1,6600
1,3	1,6900	1,7200	1,7400	1,7700	1,8000	1,8200	1,8500	1,8800	1,9000	1,9300
1,4	1,9600	1,9900	2,0200	2,0400	2,0700	2,1000	2,1300	2,1600	2,1990	2,2200
1,5	2,2500	2,2800	2,3100	2,3400	2,3700	2,4000	2,4300	2,4600	2,5000	2,5300
1,6	2,5600	2,5900	2,6200	2,6600	2,6900	2,7200	2,7600	2,7900	2,8200	2,8600
1,7	2,8900	2,9200	2,9600	2,9900	3,0300	3,0600	3,1000	3,1300	3,1700	3,2000
1,8	3,2400	3,2800	3,3100	3,3500	3,3900	3,4200	3,4600	3,9700	3,5300	3,5700
1,9	3,6100	3,6500	3,6900	3,7200	3,7600	3,8000	3,8400	3,8800	3,9200	3,9600
2,0	4,0000	4,0400	4,0800	4,1200	4,1600	4,2000	4,2400	4,2800	4,3300	4,3700
2,1	4,4100	4,4500	4,4900	4,5400	4,5800	4,6200	4,6700	4,7100	4,7500	4,8000
2,2	4,8400	4,8800	4,9200	4,9700	5,0200	5,0600	5,1100	5,1500	5,2000	5,2400
2,3	5,2900	5,3400	5,3800	5,4300	5,4800	5,5200	5,5700	5,6200	5,6600	5,7100
2,4	5,7600	5,8100	5,8600	5,9000	5,9500	6,0000	5,0500	6,1000	6,1500	6,2000
2,5	6,2500	6,3000	6,3500	6,4000	6,4500	6,5000	6,5500	6,6000	6,6600	6,7100
2,6	6,7600	6,8100	6,8600	6,9100	6,9700	7,0200	7,0800	7,1300	7,1800	7,2400
2,7	7,2900	7,3400	7,4000	7,4500	7,5100	7,5600	7,6100	7,6700	7,7300	7,7800

кой необходимо учитывать изменение числа слоев. Если двухслойная обмотка заменяется однослойной, коэффициент заполнения может быть увеличен, при замене однослойной обмотки двухслойной — уменьшен (см. табл. 27).

Для удобства проверки приводится табл. 30 квадратов диаметров.

Пример 10. Мощность электродвигателя 4,5 кВт. Данные старой обмотки: $n_{ст} = 51$, $D_{ст} = 0{,}86$ мм; данные новой обмотки: $n_{нов} = 89$, $D_{нов} = 0{,}6$ мм. Однослойная обмотка заменяется двухслойной. Паз грушевидный (рис. 11, *в*). Проверить возможность размещения новой обмотки в пазу.

По табл. 30 находим $D^2_{ст} = 0{,}86^2 = 0{,}74$ (на пересечении строки 0,8 и графы 0,06); $D^2_{нов} = 0{,}6^2 = 0{,}36$; $n_{ст} D^2_{ст} = 51 \cdot 0{,}74 = 37{,}8$; $n_{нов} D^2_{нов} = 89 \cdot 0{,}36 = 32$.

Для грушевидного паза (см. табл. 29) при мощности 4,5 кВт коэффициент заполнения равен 0,46 для однослойной обмотки и 0,40 — для двухслойной.

Уточним результат вычисления заполнения паза новой обмоткой: $32 \cdot 0{,}46/0{,}4 = 36{,}8 < 37{,}8$.

Значит, обмотка в пазу размещается.

Определение числа полюсов трехфазной обмотки статора

Число полюсов для двухслойной обмотки при известном шаге

$$2p \approx (0{,}8—1)\, z_1/y,$$

где z_1 — число пазов статора, y — шаг обмотки статора.

Если по формуле получается результат больше двух, но меньше четырех, то следует принять $2p = 2$. Например, при $z_1 = 36$ и $y = 10$

$$2p \approx (0{,}8—1)\, 36 : 10 = 2{,}9—3{,}6 = 2.$$

Число полюсов для однослойной или двухслойной обмотки при известном числе пазов на полюс и фазу q

$$2p = z_1/3q.$$

В однослойных концентрических и шаблонных обмотках, где катушки расположены одна в центре другой, число q можно определить по лобовым частям.

Если невозможно по оставшейся обмотке определить q и y, то число полюсов можно предварительно найти по

31. Рекомендуемые числа пазов короткозамкнутых роторов

$2p$	z_1	z_2	
		прямые пазы	скошенные пазы
1	2	3	4
		Электродвигатели для обычных условий работы	
2	18	—	26
	24	[16], 32	(18), (30), 31, 33, 34, 35
	30	22, 38	(18), 20, 21, 23, (24), 37, 39, 40
	36	26, 28, 44, 46	25, 27, 29, 43, 45, 47
	42	32, 34, 50, 52	—
	48	38, 40, 56, 58	59
4	24	[32]	16, [20], 30, 33, 34, 35, 36
	36	26, 44, 46	(24), 27, 28, 30, [32], 45, 48
	42	(34), (50), 52, 54	(33), 34, [38], (51), 53
	48	34, 38, 56, 58, 62, 64	(36), (39), 40, [44], 57, 59
	60	50, 52, 68, 70, 74	48, 49, 51, 56, 64, 69, 71
	72	62, 64, 80, 82, 86	61, 63, 68, 76, 81, 83
6	36	26, 42, [48]	47, 49, 50
	54	44, 64, 66, 68	42, 43, 65, 67
	72	56, 58, 62, 82, 84, 86, 88	57, 59, 60, 61, 83, 85, 87
	90	74, 76, 78, 80, 100, 102, 104	75, 77, 79, 101, 103, 105
8	48	34, 62, [64]	35, 61, 63, 65
	72	58, 86, 88, 90	56, 57, 59, 85, 87, 89
	84	66, (68), 70, 98, 100, 102, 104	(68), (69), (71), (97), (99), (101)
	96	78, 82, 110, 112, 114	79, 80, 81, 83, 109, 111, 113
10	60	44, 46, 74, 76	57, 63, 77, 78, 79
	90	68, 72, 74, 76, 104, 106, 108, 110, 112, 114	70, 71, 73, 87, 93, 107, 109
	120	86, 88, 92, 94, 96, 98, 102, 104, 106, 134, 138	99, 101, 108, 117, 123, 137, 139
12	72	56, 64, 80, 88	69, 75, 80, 89, 91, 92
	90	68, 70, 74, 82, 98, 106, 110	(71), (73), 86, 87, 93, 94, (107)
	108	86, 88, 92, 100, 116, 124, 128, 130, 132	84, 89, 91, 104, 105, 111, 112, 125, 127
	144	124, 128, 136, 152, 160, 164, 166, 168, 170, 172	125, 127, 141, 147, 161, 163
		Электродвигатели для практически бесшумной работы	
2	24	—	16, (12), (30), (32)
	30	—	(18), 20, 22, (24), (36), 38, 40
4	36	—	(24), 26, 28, 44, 46, (48)
	48	—	(34), 36, 38, 40, 55, 58, 60, 62, 64

1	2	3	4
6	54	—	42, 44, 64, 66, 68
	72	—	56, 58, 60, 62, 82, 84, 86, 88, 90
8	72	—	58, 86, 88, 90
	96	—	78, 80, 82, 110, 112, 114

Примечания: 1. Числа пазов, заключенные в круглые скобки, дают ухудшенные пусковые характеристики.

2. Числа пазов, заключенные в квадратные скобки, не следует применять для машин, работающих в режиме тормоза.

отношению наружного диаметра D_a статора к его внутреннему диаметру D_i :

$2p$	2	4	6	8,10
D_a/D_i	1,70—1,90	1,55—1,65	1,40—1,50	1,30—1,40

Примечание. В серийных машинах при одних и тех же диаметрах могут быть различные числа полюсов, например 4 и 6, 6 и 8, 8 и 10,

а затем проверить по величине индукции в спинке статора и в зубцах. Правильность выбора числа полюсов можно проверить также по соотношению чисел пазов ротора и статора (табл. 31).

Расчет обмоточных данных статора трехфазного электродвигателя с всыпной обмоткой

Статорные обмотки асинхронных электродвигателей выполняются в виде мягких (всыпных) или жестких секций либо протяжкой вручную обмоточного провода в закрытые или полузакрытые пазы.

В электродвигателях малой и средней мощности наибольшее распространение получили двухслойные обмотки с мягкими секциями. Ниже рассматривается расчет подобных обмоток.

Полюсное деление (см)

$\tau = 3{,}14D_i/2p$.

Площадь полюсного деления (см²) $Q_\delta = \tau l$.

Число последовательно соединенных витков в фазе обмотки при напряжении $U_ф = 127$ В находят по рис. 12. Если напряжение равно не 127 В, то найденное число витков пересчитывают по формуле:

$w' = wU_ф/127$.

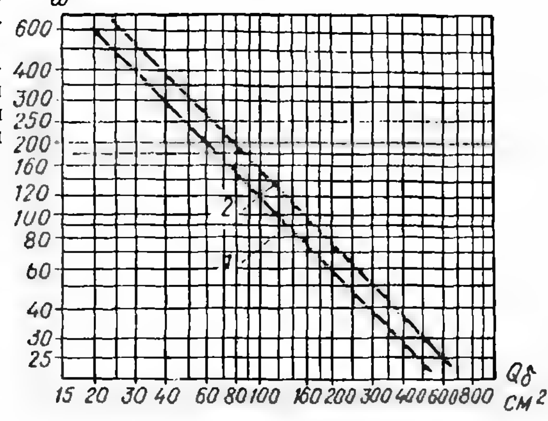


Рис. 12. Число последовательно соединенных витков в фазе w в зависимости от площади полюсного деления Q при напряжении $U_в = 127$ В:
1 — при $2p = 2$;
2 — при $2p > 2$

Окончательное число витков уточняется после определения числа проводников в пазу и проверки величины индукции в воздушном зазоре, спинке статора и зубцах (табл. 32).

32. Значение индукций в нормальных асинхронных машинах

$2p$	B_δ, Т, при τ, см			B_c, Т	B_z ***, Т
	3—6	6—11	12—30*		
2	—	0,45—0,50	0,65—0,70	1,2—1,7	1,3—1,7
4	0,55—0,65	—	0,70—0,75	1,0—1,5**	
6 и более	—	—	0,71—0,77		

* Для закрытых обдуваемых машин значения должны быть уменьшены на 10 %.

** Индукция может быть меньше указанных значений при унификации штампов для разных чисел полюсов, например, для $2p = 4$ и 6; 6 и 8 и т. д.

*** Для трапецеидальных и грушевидных пазов.

Высота спинки статора (см)

$$h_c = 0{,}5\,(D_a - D_i - 2h_п),$$

где $h_п$ — глубина паза, см.

Число эффективных проводников в пазу

$$N = 6w'a/z_1\,.$$

Число пазов на полюс и фазу

$$q = z_1/2pm.$$

Индукция в воздушном зазоре (Т)

$$B_\delta = 64 K_E U_ф / K_{об} Q_\delta w',$$

где K_E — отношение ЭДС к напряжению:

Q_δ, см²	15—50	50—100	100—150	150—400	Свыше 400
K_E	0,75—0,86	0,86—0,90	0,90—0,93	0,93—0,95	0,96—0,97

Индукция в спинке статора (Т)

$$B_c = 0{,}36 B_\delta \tau / h_c .$$

Пазовое деление (см)

$$t = 3{,}14 D_1 / z_1 .$$

Индукция в зубцах (Т)

$$B_z = B_\delta t / 0{,}93 b_z ,$$

где b_z — минимальная толщина зубца, см.

Диаметр провода с изоляцией (мм)

$$D = \sqrt{K_п F / 0{,}785 n}.$$

Диаметр изолированного провода в асинхронных машинах мощностью 0,6 кВт и выше обычно меньше ширины шлица (прорези) паза на 1,5—2 мм.

При коэффициенте заполнения паза $K_п = 0{,}4$ диаметр изолированного провода можно определить без вычислений по рис. 13, 14. При других значениях $K_п$ полученную величину надо умножить на коэффициент K:

$K_п$	0,36	0,37	0,4	0,43	0,46	0,50
K	0,95	0,96	1,0	1,04	1,08	1,12

Пример 11. Определить диаметр изолированного провода при $F = 170$ мм², $n = 82$ и $K_п = 0{,}36$. По рис. 13 находим при $K_п = 0{,}4$ $D = 1{,}02$ мм, $K = 0{,}95$; при $K_п = 0{,}36$ $D' = 0{,}95 \cdot 1{,}02 = 0{,}97$ мм.

Диаметр провода без изоляции определяется в зависимости от его марки.

Фазный ток обмотки статора (А)

$$I_ф = j S_{эл} n_{эл} a,$$

где j — плотность тока, А/мм² (в системе единиц СИ плотность тока выражается в А/м²; 1 А/м² = 10^6 А/мм²) (табл. 33).

33. Ориентировочные значения плотности тока (А/мм²) в асинхронных электродвигателях

D_a, см	Защищенных	Закрытых обдуваемых
130—300	6,5—5,5	6,0—4,5
300—500	5,5—4,5	4,5—3,5

34. Энергетический КПД микродвигателей с короткозамкнутым ротором

$2p$	$\eta \cos\varphi$ при $S_н$, В А	
	150—400	400—1000
2	0,4—0,6	0,6—0,7
4	0,3—0,5	0,5—0,6

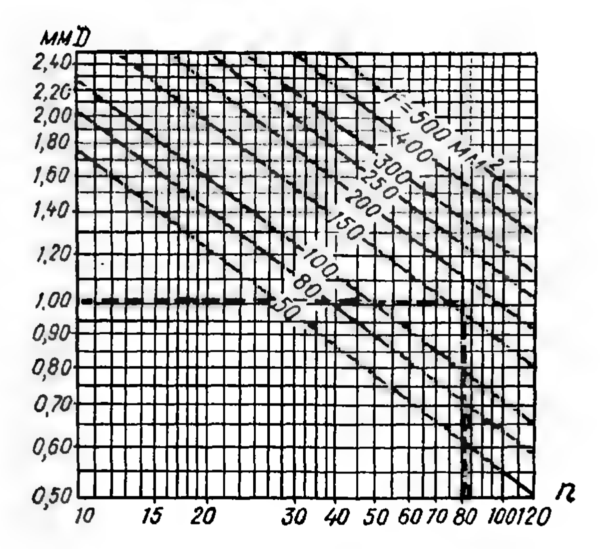


Рис. 13. Определение диаметра изолированного провода D при $K_п=0{,}4$ и числе проводников в пазу $n=10$—120

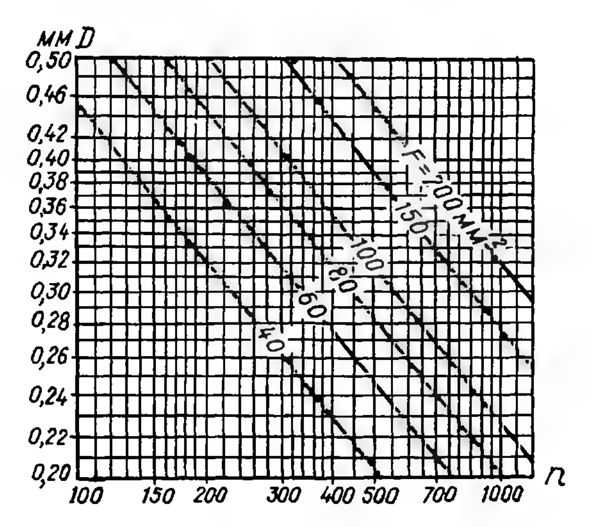


Рис 14. Определение диаметра изолированного провода D при $K_п=0{,}4$ и числе проводников в пазу $n=120$—1200

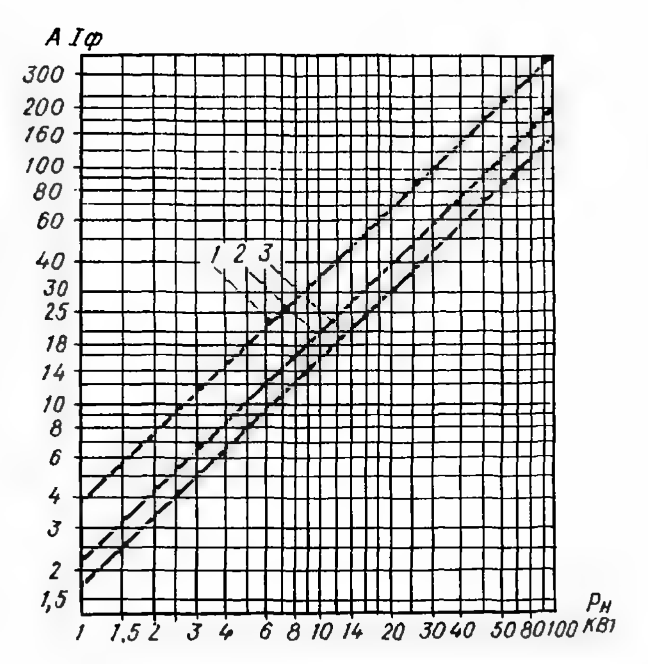


Рис. 15. Зависимость мощности P от тока фазы $I_ф$ при числе полюсов 2 $p=2$ и напряжении $U_ф$:

1 — 127 В, *2* — 220 В, *3* — 289 В (фазное напряжение при напряжении сети 500 В и соединении фаз обмотки звездой)

Номинальная мощность электродвигателей и микродвигателей (до 600—1000 Вт):

полная мощность (В.А)

$$S'_н = 3U_{ф.н} I_{ф.н};$$

номинальная мощность на валу

$$P_н = S_н \eta_н \cos \varphi_н ,$$

где $\eta_н \cos \varphi_н$ — номинальный энергетический КПД (табл. 34).

Номинальная мощность малых и средних электродвигателей (до 100 кВт) при числе полюсов $2p=2$ определяется по рис. 15; при $2p=4$ полученное значение надо уменьшить на 6—8 %, при $2p = 6,8$ — на 5—15 % (больший процент для электродвигателей меньшей мощности).

Пример 12. Определить обмоточные данные статора, исходя из следующих данных: $U_н = 220/380$ В, $z_1 = 54$, $z_2 = 64$, $D_a = 29,1$ см,

$D_i = 20{,}6$ см, $l = 15$ см, паз — грушевидный (см. рис. 10). Размеры паза: $h = h_п = 25{,}9$ мм, $h_1 = 20{,}4$ мм, $b_2 = 9$ мм, $b_1 = 7$ мм, $r_2 = 4{,}5$ мм, $r_1 = 3{,}5$ мм, $b_z = 5{,}5$ мм. Число полюсов неизвестно. Электродвигатель закрытый обдуваемый.

Число полюсов определяем из отношения

$$D_a / D_i = 29{,}1/20{,}6 = 1{,}41.$$

Находим, что значение 1,41 (см. с. 58) наиболее близко к числу полюсов $2p = 6$. По табл. 31 проверяем, что $z_2 = 64$ допустимо при $z_1 = 54$ и $2p = 6$. Эта машина может быть использована и при $2p = 8$, так как отношение $D_a / D_i = 1{,}41$ близко к 1,40, которое соответствует $2p = 8{,}10$, а в единой серии А2, А02 применяются при $2p = 8$ числа пазов $z_1 = 54$ и $z_2 = 64$. Однако при этом могут ухудшиться некоторые характеристики электродвигателя.

Ведем расчет при $2p = 6$.

Полюсное деление

$$\tau = 3{,}14 \cdot 20{,}6/6 = 10{,}8 \text{ см}.$$

Площадь полюсного деления

$$Q_\delta = 10{,}8 \cdot 15 = 162 \text{ см}^2.$$

Число последовательно соединенных витков при напряжении $U_ф = 127$ В $w = 76$ (по рис. 12).

Число витков при $U_ф = 220$ В

$$w' = 76 \cdot 220/127 = 132.$$

Высота спинки статора

$$h_a = 0{,}5\,(29{,}1 - 20{,}6 - 2 \cdot 25{,}9) = 1{,}66 \text{ см}.$$

Число эффективных проводников в пазу

$$N = 6 \cdot 132 \cdot 2/54 = 29{,}3 \approx 30,$$

где $a = 2$ (по табл. 24).

Число последовательных витков при $N = 30$

$$w' = 30 \cdot 54/6 \cdot 2 = 135.$$

Число пазов на полюс и фазу

$$q = 54/6 \cdot 3 = 3.$$

Шаг обмотки и обмоточный коэффициент определяем исходя из типа обмотки и числа полюсов. Так как диаметр $D_a > 250$ мм, выбираем двухслойную обмотку с укороченным шагом $y = 7$ (1 — 8) (по табл. 25); $K_{об} = 0{,}902$ (по табл. 28).

Индукция в воздушном зазоре

$$B_\delta = 64 \cdot 0{,}93 \cdot 220/0{,}902 \cdot 162 \cdot 135 = 0{,}664 \text{ Т}.$$

Индукция в спинке статора

$$B_c = 0{,}36 \cdot 0{,}664 \cdot 10{,}8/1{,}66 = 1{,}55 \text{ Т}.$$

Пазовое деление

$t = 3{,}14 \cdot 20{,}6/54 = 1{,}2$ см.

Индукция в зубцах

$B_z = 0{,}664 \cdot 1{,}2/0{,}93 \cdot 0{,}55 = 1{,}56$ Т.

Сравнивая величины индукций с допустимыми значениями, находим, что индукция в спинке статора несколько завышена. Чтобы уменьшить ее, увеличиваем число проводников в пазу. Верхнее предельно допустимое значение $B_с = 1{,}5$ Т, берем $B_с = 1{,}4$ Т для создания некоторого запаса:

$N' = NB_с/1{,}4 = 30 \cdot 1{,}55/1{,}4 = 33{,}2 \approx 34.$

Площадь паза

$F = 1{,}57(3{,}5^2 + 4{,}5^2) + 0{,}5(20{,}4 - 3{,}5)(7 + 9) = 186$ мм².

Коэффициент заполнения $K_п = 0{,}4$ (по табл. 29), мощность определяем по размерам сердечника и таблицам обмоточных данных.

Диаметр провода с изоляцией $D = 1{,}64$ мм (по рис. 13) при $n = 34$ (принимаем $n_{эл} = 1$).

Диаметр провода для марки ПЭТВ без изоляции выбираем по табл. 15: $d = 1{,}56$ мм.

Сечение провода $S_{эл} = 1{,}91$ мм² (по табл. 18).

Фазный ток обмотки статора

$I_ф = 5{,}2 \cdot 1{,}91 \cdot 1 \; 2 \approx 19{,}9$ А,

где 5,2 А/мм² — плотность тока j по табл. 33.

Номинальная мощность по валу

$P'_н = 0{,}9 \cdot 11 \approx 10$ кВт,

где $P_н = 11$ кВт (по рис. 15).

Расчет массы и сопротивления всыпной обмотки статора

Средняя ширина (см) катушки двухслойной и однослойной цепной обмоток

$\tau_y = 3{,}14\,(D_i + h_{п.})\,y/z_1.$

Длина лобовой части (см):

а) двухслойной и однослойной цепной обмоток

$l_л = K_л \tau_у + 2,$

где $K_л$ находят по табл. 35;

б) однослойной концентрической обмотки

$l_л = 1{,}4\,\tau + (2 - 5).$

Бóльшие значения в скобках берутся для более крупных машин.

Вылет лобовой части (см) для двухслойной обмотки (от торца сердечника)

$l_в = K\tau_y + 2,$

где $K_в$ находят по табл. 35.

Средняя длина полувитка (см)

$l_{пв} = l_л + l_1.$

Общая длина провода (км) на обмотку

$L = l_{пв} z_1 n 10^{-5}.$

Масса меди (кг) без изоляции

$M_м = 7Ld^2.$

35. Коэффициенты $K_л$ и $K_в$ для расчета обмоток

2p	Лобовые части не изолированы		Лобовые части изолированы лентой	
	$K_л$	$K_в$	$K_л$	$K_в$
2	1,2	0,26	1,45	0,44
4	1,3	0,40	1,55	0,50
6	1,4	0,50	1,75	0,60
8	1,5	0,50	1,90	0,72

Примечание. Для однослойной цепной обмотки $K_л$ берется на 10 — 15 % больше.

Масса провода (кг) с изоляцией

$M = [0,876 + 0,124\,(D/d)^2]\,M_м.$

Сопротивление фазы трехфазной обмотки (Ом)

$r = 5,85L/S\,(n_{эл}d)^2.$

Пример 13. Определить массу и сопротивление обмотки при следующих данных: $D_i = 14,4$ см, $h_п = 2,1$ см, $l_1 = 14,8$ см, $z_1 = 36$, $2p = 6$, $m = 3$, $n = 32 \times 2$, $d = 1,12$ мм, $a = 1$. Обмотка однослойная концентрическая, провод медный ПЭВ-2, $D = 1,23$ мм. Лобовые части не изолированы.

Полюсное деление

$\tau = 3,14 \cdot 14,4/6 = 7,55$ см.

Длина лобовой части

$l_л = 1,4 \cdot 7,55 + 4 = 14,6$ см.

Средняя длина полувитка

$l_{пв} = 14,6 + 14,8 = 29,4$ см.

Общая длина провода на обмотку

$L = 29,4 \cdot 36 \cdot 32 \cdot 2 \cdot 10^{-5} = 0,678$ км.

Масса меди без изоляции

$M_м = 7 \cdot 0,678 \cdot 1,12^2 = 5,95$ кг.

Масса провода с изоляцией

$M = [0,876 + 0,124\,(1,23/1,12)^2]\,5,95 = 6,1$ кг.

Сопротивление фазы обмотки

$r = 5,85 \cdot 0,678/0,985\,(2 \cdot 1,12)^2 = 1$ Ом,

где $S = 0,985$ мм^2 (по табл. 18).

Обмоточные данные трехфазных асинхронных электродвигателей серии 4А при высоте оси вращения 50—250 мм

Обозначение величин в таблицах приведено на с. 36. Шаги обмоток обозначены одной цифрой. Например, для однослойной концентрической обмотки $y = 11, 9, 7$, что равноценно 1—12, 2—11, 3—10 (катушки находятся одна внутри другой).

Число проводников в пазу представлено в виде произведения: множимое означает число эффективных проводников, множитель — число параллельных (элементарных) проводников. Для двухслойной обмотки число эффективных проводников представлено в виде суммы, причем каждое слагаемое означает число эффективных проводников в слое обмотки. Например, число 43 означает, что обмотка однослойная, наматывается одним проводом (параллельных проводников нет), число эффективных проводников в пазу 43, общее число проводников в пазу 43; запись 43×3 означает, что обмотка однослойная, наматывается тремя параллельными проводами, число эффективных проводников в пазу 43, общее число проводников в пазу $43 \times 3 = 129$; запись $(16 + 16)\,2$ означает, что обмотка двухслойная, наматывается двумя параллельными проводами, число эффективных проводников в пазу $16 + 16 = 32$, в каждом слое обмотки 16 эффективных проводников в пазу, общее число проводников в пазу $(16 + 16)\,2 = 64$.

36. Обмоточные данные электродвигателей при высоте оси вращения 50—63 мм

Обозначение	$P_н$, Вт	$U_н$ = 127/220 В				$U_н$ = 220/380 В				y	$l_{ср}$, мм
		n	d, мм	r, Ом	M, кг	n	d, мм	r, Ом	M, кг		
4АА50А2	90	260	0,35	28,2	0,43	450	0,27	82,3	0,44	7; 5	294
4АА50В2	120	228	0,41	19,1	0,54	394	0,31	57,8	0,53	7, 5	310
4АА50А4	60	367	0,33	35,2	0,42	635	0,27	91,0	0,48	3	230
4АА50В4	90	289	0,38	22,7	0,48	500	0,31	59,1	0,55	3	250
4АА56А2У3, 4ААВ56А2У3, 4АА56А2ПУ3	180	93	0,41	16,0	0,44	166	0,29	54,9	0,40	11; 9	306
4АА56В2У3, 4ААВ56В2У3, 4АА56В2ПУ3	250	82	0,44	12,9	0,47	143	0,33	38,6	0,46	11; 9	324
4АА56А4У3, 4ААВ56А4У3, 4АА56А4ПУ3	120	133	0,41	18,5	0,51	254	0,29	70,5	0,50	7; 5	257
4АА56В4У3, 4ААВ56В4У3, 4АА56В4ПУ3	180	117	0,44	15,0	0,57	203	0,33	46,5	0,55	7; 5	275
4АА63А2У3, 4ААВ63А2У3, 4АА63А2ПУ3	370	73	0,51	8,41	0,58	126	0,38	26,2	0,55	11; 9	330
4АА63В2У3, 4ААВ63В2У3, 4АА63В2ПУ3	550	58	0,57	5,62	0,60	101	0,44	16,7	0,62	11; 9	350
4АА63А4У3, 4ААВ63А4У3, 4АА63А4ПУ3	250	98	0,49	10,1	0,59	169	0,38	29,0	0,61	7; 5	272
4АА63В4У3, 4ААВ63В4У3, 4АА63В4ПУ3	370	79	0,53	7,4	0,59	137	0,41	21,4	0,61	7; 5	289
4АА63А6У3, 4ААВ63А6У3, 4АА63А6ПУ3	180	98	0,44	16,8	0,64	170	0,33	51,9	0,62	7; 5	244
4АА63В6У3, 4ААВ63В6У3, 4АА63В6ПУ3	250	76	0,53	10,5	0,83	131	0,41	30,0	0,85	7, 5	283

Примечания: 1. Марка провода — ПЭТВМ, класс нагревостойкости — Е.
2. Число параллельных ветвей — одна.
3. Односторонняя толщина пазовой изоляции — 0,2 мм.

37. Обмоточные данные электродвигателей при высоте оси вращения 71—100 мм

Обозначение	$P_н$, кВт	$U_н$ =220/380 В				$U_н$ =380/660 В				$U_н$ =550 В		y	$l_{ср}$, мм
		n	d, мм	r, Ом	M, кг	n	d, мм	r, Ом	M, кг	n	d, мм		
4A71A2	0,75	89	0,53	12,0	0,91	154	0,41	35,0	0,93	117	0,47	11; 9	420
4A71B2	1,10	73	0,59	8,35	0,96	126	0,44	25,9	0,92	96	0,51	11; 9	438
4A71A4	0,55	113	0,53	12,2	0,92	192	0,41	35,0	0,93	149	0,47	7; 5	336
4A71B4	0,75	95	0,57	9,45	0,94	164	0,44	27,3	0,97	125	0,49	7; 5	354
4A71A6	0,37	114	0,47	21,2	0,97	—	—	—	—	150	0,38	7; 5	300
4A71B6	0,55	85	0,53	14,45	1,08	147	0,41	41,8	1,11	112	0,47	7; 5	350
4A71B8	0,25	148	0,41	35,6	0,95	—	—	—	—	195	0,35	5; 3; 5*	296
4A80A2	1,50	61	0,8	4,1	1,59	106	0,59	13,1	1,51	80	0,69	11; 9	474
4A80B2	2,20	48	9,93	2,6	1,82	83	0,69	8,14	1,74	63	0,8	11; 9	514
4A80A4	1,10	60	0,67	7,15	1,36	102	0,51	21,0	1,35	79	0,59	11; 9; 7	392
4A80B4	1,50	49	0,74	5,3	1,49	85	0,55	16,5	1,44	65	0,64	11; 9; 7	432
4A80A6	0,75	82	0,59	10,8	1,24	142	0,44	33,6	1,19	108	0,51	7; 5	336
4A80B6	1,10	58	0,72	6,25	1,58	101	0,53	20,0	1,51	76	0,62	7; 5	410
4A80A8	0,37	121	0,49	21,40	1,16	200	0,38	58,8	1,16	159	0,41	5; 3; 5*	310
4A80B8	0,55	91	0,57	13,40	1,33	153	0,44	37,7	1,34	120	0,49	5; 3; 5*	350
4A90L2	3,00	44	1,08	1,96	2,51	76	0;80	6,2	2,39	58	0,96	11; 9	572
4A90L4	2,20	40	0,90	3,10	1,92	69	0,67	9,7	1,84	53	0,77	11; 9; 7	462
4A90L6	1,50	51	0,83	4,37	1,95	88	0,62	13,5	1,89	67	0,72	7; 5	432
4A90LA8	0,75	74	0,67	8,30	1,58	128	0,51	24,9	1,60	97	0,59	5; 3; 5*	370
4A90LB8	1,10	58	0,77	5,75	1,91	101	0,57	18,3	1,83	76	0,67	5; 3; 5*	430
4A100S4	3,00	35	1,12	1,90	2,81	60	0,86	5,53	2,85	46	1,00	11; 9; 7	500
4A100L4	4,00	28	1,30	1,28	3,39	48	0,96	3,98	3,18	37	1,12	11; 9; 7	560

4A100L6	2,20	43	1,04	2,55	2,81	74	0,80	7,40	2,87	57	0,90	7; 5	470
4A100L8	1,50	56	0,93	3,85	2,71	97	0,69	12,1[illegible]	2,60	74	0,80	5; 3; 5*	436

* 5; 3 — шаги обмотки для катушечной подгруппы из двух катушек, 5 — шаг обмотки для катушечной группы из одной катушки.

Примечания: 1. Марка провода — ПЭТВ—939.
2. Число параллельных ветвей — одна.
3. Односторонняя толщина пазовой изоляции—0,2 мм при высоте оси вращения 71; 80 мм и 0,25 мм — при высоте оси вращения 90 и 100 мм.
4. Соединение фаз при напряжении 500 В — Y.

38. Обмоточные данные электродвигателей при высоте оси вращения 112—132 мм

Обозначение	$P_н$, кВт	$U_н$ =127/220 В					$U_н$=220/380 В					y	$l_{ср}$, мм
		n	d, мм	a	r, Ом	M, кг	n	d, мм	a	r, Ом	M, кг		
4A112M2	7,5	30×2	1,16	2	0,174	4,79	26×2	1,25	1	0,521	4,81	11; 9	690
4A112M4	5,5	14×2	1,30	1	0,323	3,49	25	1,40	1	0,990	3,61	11; 9; 7	572
4A112MA6	3,0	16×2	1,04	1	0,687	3,05	28	1,12	1	2,06	3,09	11; 9; 7	454
4A112MB6	4,0	13×2	1,16	1	0,498	3,42	23	1,25	1	1,51	3,51	11; 9, 7	504
4A112MA8	2,2	23×2	0,96	1	0,945	3,04	39	1,04	1	2,73	3,03	7; 5	416
4A112MB8	3,0	18×2	1,08	1	0,668	3,45	31	1,20	1	1,87	3,68	7; 5	476
4A132M2	11,0	24×2	1,35	2	0,116	5,77	21×3	1,20	1	0,342	6,06	11; 9	772
4A132S4	7,5	13×3	1,35	1	0,193	5,44	22×2	1,25	1	0,571	5,27	11; 9; 7	596
4A132M4	11,0	19×2	1,35	3	0,121	6,09	32×2	1,04	2	0,346	6,14	11; 9; 7	686
4A132S6	5,5	12×2	1,35	1	0,348	4,35	20×2	1,04	1	0,976	4,33	11; 9; 7	516
4A132M6	7,5	9×3	1,25	1	0,239	4,94	15×2	1,20	1	0,649	5,10	11; 9; 7	606

Продолжение табл. 38

Обозначение	$P_н$, кВт	$U_н$=127/220 В					$U_н$=220/380 В					y	$l_{ср}$, мм
		n	d, мм	a	r, Ом	M, кг	n	d, мм	a	r, Ом	M, кг		
4A132S8	4,0	16×2	1,25	1	0,440	4,04	27	1,40	1	1,18	4,28	7; 5	470
4A132M8	5,5	12×3	1,16	1	0,303	4,67	21×2	1,08	1	0,919	4,72	7; 5	560
4A1122MA	7,5	45	1,36	1	1,55	4,84	34×2	1,08	1	0,912	4,71	11; 9	690
4A112M4	5,5	43	1,04	1	3,10	3,44	33	1,20	1	1,79	3,53	11; 9; 7	572
4A112MA6	3,0	48	0,86	1	6,02	3,12	37	0,96	1	3,73	2,99	11; 9; 7	452
4A1122MB6	4,0	40	0,93	1	4,77	3,37	30	1,08	1	2,65	3,42	11; 9; 7	504
4A112MA8	2,2	67	0,80	1	7,91	3,08	51	0,93	1	4,46	3,16	7; 5	416
4A112MB8	3,0	53	0,90	1	5,67	3,52	41	0,40	1	3,28	3,65	7; 5	476
4A132M2	11,0	36×2	1,12	1	1,00	5,98	28×2	1,25	1	0,63	5,79	11; 9	722
4A132S4	7,5	38	1,35	1	1,70	5,3	29×2	1,80	1	1,01	5,20	11; 9; 7	596
4A132M4	11,0	56	1,12	2	1,045	6,21	42	1,30	2	0,583	6,26	11; 9; 7	686
4A132S6	5,5	35	1,12	1	2,93	4,38	26	1,30	1	1,624	4,38	11; 9; 7	516
4A132M6	7,5	26	1,30	1	1,906	5,15	20×2	1,04	1	1,15	5,07	11; 9; 7	606
4A132S8	4,0	47	1,04	1	3,71	4,12	36	1,20	1	2,14	4,22	7; 5	470
4A132M8	5,5	36	1,20	1	2,55	5,02	28	1,35	1	1,563	4,89	7; 5	560

Примечания: 1. Марка провода — ПЭТВ.
2. Соединение фаз при напряжении 500 В — Y.

39. Обмоточные данные электродвигателей при высоте оси вращения 160—250 мм

Обозначение	$P_н$, кВт	$U_н$=220/380 В					$U_н$=380/660 В					y	$l_{ср}$, мм
		n	d, мм	a	r, Ом	M, кг	n	d, мм	a	r, Ом	M, кг		
4A160S2	15,0	(16+16)2	1,20	2	0,268	9,0	28+28	1,30	2	0,86	9,2	12; 12	760
4A160M2	18,5	(14+14)2	1,30	2	0,226	9,7	24+24	1,40	2	0,67	9,6	12; 12	800
4A160S4	15,0	27×2	1,25	2	0,270	9,9	47	1,35	2	0,81	10,0	11; 9	690
4A160M4	18,5	22×2	1,40	2	0,196	11,3	38	1,50	2	0,692	11,2	11; 9	770
4A160S6	11,0	46	1,16	3	0,520	7,9	27×2	1,08	1	1,590	8,1	11; 9; 7	670
4A160M6	15,0	34	1,35	3	0,330	9,2	20×2	1,25	1	1,020	9,3	11; 9; 7	780
4A160S8	7,5	41×2	0,93	2	0,642	7,2	71	1,00	2	1,920	7,2	7; 5	595
4A160M8	11,0	30×2	1,08	2	0,412	8,4	52	1,16	2	1,240	8,5	7; 5	705
4AH160S2	22,0	(14+14)2	1,23	2	0,216	9,0	24+24	1,40	2	0,631	9,1	12	760
4AH160M2	30,0	(11+11)2	1,50	2	0,133	10,6	19+19	1,62	2	0,416	10,7	12	840
4AH160S4	18,5	26×2	1,25	2	0,263	9,5	45	1,35	2	0,799	9,6	11; 9	690
4AH160M4	22,0	21×2	1,45	2	0,179	11,6	36	1,56	2	0,532	11,5	11; 9	770
4A180S2	22,0	(14+14)3	1,25	2	0,150	12,5	(24+24)2	1,16	2	0,449	12,3	11	738
4A180M2	30,0	(10+10)3	1,50	2	0,087	14,8	(18+18)2	1,35	2	0,230	14,4	12	860
4A180S4	22,0	23×3*	1,25	2	0,161	13,2	40×2*	1,16	2	0,490	13,2	11; 9; 7	720
4A180M4	30,0	17×4*	1,25	2	0,099	14,5	29×2*	1,35	2	0,268	14,4	11; 9; 7	800
4A180M6	18,5	(10+10)2	1,35	2	0,240	12,1	18+17	1,45	2	0,738	12,2	10	650
4A180M8	15,0	23+23	1,25	4	0,320	11,7	20+20	1,35	2	0,950	11,9	7	634
4A200M2	37	(10+10)4	1,50	2	0,067	19,7	(17+18)3	1,50	2	0,203	19,5	11	860
4A200L2	45	(8+9)5	1,45	2	0,051	21,0	(15+15)3	1,40	2	0,160	20,7	11	920
4A200M4	37	(9+8)4	1,35	2	0,090	17,6	(14+15)3	1,20	2	0,259	18,1	10	850
4A200L4	45	(7+7)5	1,35	2	0,065	20,5	(12+12)3	1,30	2	0,202	19,5	10	940
4A200M6	22	(14+14)2	1,25	3	0,193	15,9	(16+16)2	1,16	2	0,575	15,6	10	710
4A200L6	30	(11+11)2	1,40	3	0,129	16,8	19+19	1,50	3	0,389	16,6	10	760
4A200M8	18,5	(11+11)2	1,40	2	0,234	13,5	(19+19)2	1,04	2	0,750	13,1	7	625
4A200L8	22	19+19	1,50	4	0,195	14,5	33+33	1,12	4	0,608	14,1	7	675
4AH200M2	55	(8+8)6	1,35	2	0,046	20,6	(13+14)4	1,25	2	0,136	19,8	11	920

Продолжение табл. 39

Обозначение	$P_н$, кВт	$U_н$=220/380 В					$U_н$=380/660 В					y	$l_{ср}$, мм
		n	d, мм	a	r, Ом	M, кг	n	d, мм	a	r, Ом	M, кг		
4АН200L2	75	(6+7)6	1,50	2	0,033	22,4	(11+11)5	1,25	2	0,094	22,0	11	1000
4АН200М4	45	(8+8)4	1,40	2	0,079	18,2	(14+13)3	1,25	2	0,223	18,3	10	850
4АН200L4	55	(6+7)4	1,56	2	0,057	20,4	(11+11)4	1,20	2	0,163	20,3	10	940
4АН200М6	30	(12+12)2	1,35	3	0,141	15,9	20+21	1,45	3	0,420	15,6	10	710
4АН200L6	37	(9+9)3	1,25	3	0,095	17,8	(15+16)2	1,16	3	0,285	17,5	10	820
4АН200М8	22	(10+10)3	1,20	2	0,210	14,9	(17+17)2	1,12	2	0,623	14,7	7	675
4АН200L8	30	(14+14)2	1,25	4	0,125	18,6	24+24	1,35	4	0,370	18,5	7	825
4А225М2	35	(7+8)6	1,45	2	0,042	24,8	(13+13)3	1,56	2	0,124	24,7	11	1020
4А225М4	55	(13+13)3	1,40	4	0,050	25,8	(23+22)2	1,30	4	0,146	25,1	10	970
4А225М6	37	(10+10)3	1,30	3	0,098	21,3	(12+12)3	1,20	2	0,310	21,6	10	815
4А225М8	30	(8+8)3	1,50	2	0,112	19,4	27+27	1,40	4	0,336	19,3	7	715
4АН225М2	90	(6+6)7	1,50	2	0,0265	24,7	(10+10)5	1,35	2	0,037	23,8	11	1020
4АН225М4	75	(6+6)6	1,45	2	0,043	25,5	(10+10)3	1,56	2	0,121	24,1	10	970
4АН225М6	45	(10+9)3	1,35	3	0,087	21,8	(11+11)2	1,56	2	0,251	22,3	10	815
4АН225М8	37	(14+14)2	1,35	4	0,100	20,6	24+24	1,50	4	0,286	21,7	7	785
4А250S2	75	(4+5)8	1,56	2	0,0233	33,0	(8+8)6	1,35	2	0,074	33,0	14	1100
4А250М2	90	(4+4)9	1,56	2	0,019	34,8	(7+7)6	1,45	2	0,059	35,0	14	1170
4А250S4	75	(9+9)4	1,56	4	0,028	39,6	(16+16)2	1,62	4	0,092	38,0	12	1060
4А250М4	90	(8+8)5	1,50	4	0,0233	43,8	(14+14)3	1,40	4	0,077	40,0	12	1140
4А250S6	45	(9+9)4	1,30	3	0,069	26,6	(15+16)2	1,40	3	0,205	26,6	10	855
4А250М6	55	(7+8)4	1,40	3	0,052	27,0	(13+13)3	1,25	3	0,150	27,9	10	895
4А250S8	37	(15+15)2	1,40	4	0,098	22,7	25+25	1,56	4	0,264	23,5	7	755
4А250М8	45	(12+12)2	1,62	4	0,065	26,8	(21+21)2	1,20	4	0,207	25,8	7	835
4АН250S2	110	(4+4)9	1,56	2	0,018	32,5	(7+7)6	1,45	2	0,055	32,8	14	1090
4АН250М2	132	—	—	—	—	—	(6+6)6	1,56	2	0,043	34,4	14	1150
4АН250S4	90	(9+9)4	1,56	4	0,027	38,1	(16+16)2	1,62	4	0,088	36,5	12	1020
4АН250М4**	110	(8+8)5	1,50	4	0,022	39,5	(14+14)3	1,40	4	0,072	37,2	12	1060

4АН250S6	55	(8+9)4	1,35	3	0,061	27,1	(14+15)3	1,16	3	0,186	25,6	10	855
4АН250М6**	75	(6+7)5	1,35	3	0,041	30,4	(11+11)3	1,35	3	0,119	29,9	10	975
4АН250S8	45	(12+13)3	1,25	4	0,072	23,8	(21+22)2	1,16	4	0,216	23,5	7	795
4АН250М8	55	(10+11)3	1,40	4	0,053	27,6	(18+18)2	1,30	4	0,159	27,2	7	875

* Обмотка одно-, двухслойная.

** Для электродвигателя 4АН250М4 катушки следует выполнять из трех проводов $d = 1,5$ мм и двух проводов $d = 1,45$ мм, для электродвигателя 4АН250М6 — из трех проводов $d = 1,35$ мм и двух проводов $d = 1,40$ мм.

Примечания: 1. Марка провода — ПЭТ-155, класс нагревостойкости изоляции — F.

2. Односторонняя толщина пазовой изоляции — 0,4 мм.

3. Толщина клина — 1 мм при высоте оси вращения — 160 мм и 2,5 мм при высоте оси вращения 180 —250 мм.

4. Неравновитковые катушки в двухслойной обмотке при нечетном шаге чередовать через одну, при четном — попарно. Например, для электродвигателя 4А200М2 при шаге $y = 11$ чередовать следующим образом: 17 18, 17... , для электродвигателя 4А200М4 при шаге $y = 10$: 9, 9, 8, 8, 9, 9...

Размеры сердечников статоров трехфазных асинхронных электродвигателей серии 4А

Размеры сердечников статоров приведены в табл. 40, 41.

40. Размеры сердечников статоров электродвигателей серии 4А при высоте оси вращения 50 — 132 мм

Высота оси вращения, мм	2p	D_a, мм	D_i, мм	l_1, мм, при размерах			δ, мм	z_1	$F'_з$, мм²	z_2
				M, A, MA, *LA	L, B LB, MB	S				
50	2	81	41	42	50	—	0,25	12	72,1	9
	4	81	46	42	50	—	0,25	12	94,0	15
56	2	89	48	47	56	—	0,25	24	31,4	18
	4	89	55	47	56	—	0,25	24	43,8	18
63	2	100	54	56	65	—	0,30	24	39,1	18
	4	100	61	56	65	—	0,25	24	47,0	18
	6	100	65	56	75	—	0,25	36	37,0	28
71	2	116	65	65	74	—	0,35	24	42,0	20
	4	116	70	65	74	—	0,25	24	52,2	18
	6	116	76	65	90	—	0,25	36	40,2	28
	8	116	76	—	74	—	0,25	36	40,2	28
80	2	131	74	78	98	—	0,35	24	64,3	20
	4	131	84	78	98	—	0,25	36	44,0	28
	6	131	88	78	115	—	0,25	36	48,0	28
	8	131	88	78	98	—	0,25	36	48,0	28
90	2	149	84	—	100	—	0,40	24	81,7	20
	4	149	95	—	110	—	0,25	36	50,2	28
	6	149	100	—	100	—	0,25	36	55,4	28
	8	149	100	100	130	—	0,25	36	55,4	28
100	2	168	95	—	130	100	0,45	24	111,0	20
	4	168	105	—	130	100	0,30	36	72,5	28
	6	168	113	—	120	—	0,30	36	76,2	28
	8	168	113	—	120	—	0,30	36	76,2	28
112	2	191	110	125	—	—	0,60	24	—	22
	4	191	126	125	—	—	0,30	36	—	34
	6	191	132	100	125	—	0,30	54	—	51
	8	191	132	100	130	—	0,30	48	—	44
132	2	225	130	130	—	—	0,60	24	—	19
	4	225	145	160	—	115	0,35	36	—	34
	6	225	158	160	—	115	0,35	54	—	51
	8	225	158	160	—	115	0,35	48	—	44

41. Размеры сердечников статоров электродвигателей серий 4А и 4АН при высоте оси вращения 160—250 мм

Высота оси вращения, мм	2p	D_a, мм	D_i, мм	l_1, мм, при размерах S	M	L	σ, мм	z_1	F', мм²	z_2
160	2	272	155	110(110)	130(150)	—	0,8	36	148	28
	4		185	140(130)	180(170)	—	0,5	48	132	41
	6		197	145	200	—	0,45	54	98	50
	8		197	145	200	—	0,45	48	112	44
180	2	313	171	110(145)	145(170)	—	1,0	36	204	28
	4		211	145(145)	185(185)	—	0,6	48	162	38
	6		220	(130)	145(170)	—	0,45	72	114	58
	8		220	(170)	170(220)	—	0,45	72	114	58
200	2	349	194	—	130(160)	160(200)	0,9	36	270	28
	4		238	—	170(170)	215(215)	0,7	48	194	38
	6		250	—	160(160)	185(215)	0,5	72	134	58
	8		250	—	160(185)	185(260)	0,5	72	134	58
225	2	392	208	—	180(180)	—	1,0	36	286	28
	4		264	—	200(200)	—	0,85	48	232	38
	6		284	—	175(175)	—	0,6	72	162	56
	8		284	—	175(210)	—	0,6	72	162	56
250	2	437	232	200(190)	230(220)	—	1,2	48	265	40
	4		290	220(200)	260(220)	—	1,0	60	265	50
	6		317	180(180)	200(240)	—	0,7	72	187	56
	8		317	180(200)	220(240)	—	0,7	72	187	56

Примечание. В скобках указана длина статора для электродвигателей серии АН.

Глава IV

ВЫБОР ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Электрический двигатель составляет основу автоматизированного электропривода производственного механизма. Соответствие конструктивных и технических данных электродвигателя условиям работы механизма является необходимым требованием, выполнение которого обеспечивает минимальную стоимость электрооборудования, высокую надежность работы и наименьшие потери электроэнергии при эксплуатации.

В приводах промышленных механизмов применяются электродвигатели переменного и постоянного тока. Из электродвигателей переменного тока наибольшее распространение в промышленности получили трехфазные асинхронные короткозамкнутые электродвигатели. По сравнению с другими электрическими двигателями они проще по конструкции, дешевле, надежнее в эксплуатации и не требуют применения преобразовательных установок, так как получают энергию непосредственно от заводской сети. В отношении компактности и возможности приспособления к конструкции производственного механизма этот электродвигатель также вне конкуренции. Возможность размещения в любом положении делает его особенно удобным для глубокой электрификации механизмов с максимальным развитием многодвигательного привода и органическим слиянием механических и электрических частей. Большое значение имеют также преимущества короткозамкнутых асинхронных электродвигателей и в отношении количества применяемой пусковой аппаратуры и схем управления. Но следует помнить, что такие электродвигатели обладают рядом специфических особенностей, касающихся прежде всего пуска, реверса и торможения.

Мощность электродвигателя для производственного механизма должна выбираться в соответствии с предполагаемой нагрузкой и режимом его работы. Если электродвига-

тель выбран недостаточной мощности для данной нагрузки, то это приводит к неполному использованию механизма или перегреву отдельных частей электродвигателя и преждевременному выходу его из строя. Завышение мощности электродвигателя влечет за собой систематическую недогрузку его и вследствие этого неполное использование электродвигателя, работу его с низким КПД, а для асинхронных электродвигателей, кроме того, еще и с низким коэффициентом мощности cos φ. При завышенной мощности электродвигателя возрастают капитальные и эксплуатационные затраты.

В большинстве случаев мощность электродвигателя выбирается по нагреву, а затем двигатель проверяется по перегрузочной способности, а иногда и по пусковому моменту. Значения коэффициентов мгновенной перегрузки по моменту для асинхронных электродвигателей с контактными кольцами 2—2,5; асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором нормального исполнения 1,7—2,5; короткозамкнутых электродвигателей с двойной клеткой или глубоким пазом 1,7—2,6.

При выборе электродвигателя кроме мощности и частоты вращения необходимо учитывать еще ряд важных факторов. Электродвигатель должен выбираться в соответствии с напряжением заводской сети, с учетом установки и крепления его (горизонтальное, вертикальное исполнение), а также соединения с механизмом.

Важным является правильный выбор электродвигателя для работы в определенных условиях окружающей среды. От способа защиты электродвигателя зависит его долговечность, надежность и безопасность обслуживания.

РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Режимы работы электроприводов отличаются большим разнообразием как по характеру, так и по длительности циклов, значениям нагрузок, условиям охлаждения. На основании анализа выделен специальный класс режимов — номинальных, для которых изготовляются серийные электродвигатели.

Данные, содержащиеся в паспорте электрического двигателя, относятся к определенному номинальному режиму и называются номинальными данными электродвигателя.

Номинальные данные, характеризующие работу двигателя, устанавливаются исходя из работы его на высоте до 1000 м над уровнем моря, температуры газообразной охлаждающей среды 40 °С и охлаждающей воды 30 °С.

Действующим ГОСТ 183—74 предусматриваются восемь номинальных режимов, которые в соответствии с международной классификацией имеют условные обозначения S1—S8. Ниже приводится краткая характеристика этих режимов.

Продолжительный S1 (рис. 16, *а*) — это работа при неизменной нагрузке, продолжающаяся до тех пор, пока превышения температуры всех частей двигателя достигнут установившихся значений.

Кратковременный S2 (рис. 16, *б*), при котором период неизменной номинальной нагрузки чередуется с периодом отключения двигателя; при этом периоды нагрузки недостаточны, чтобы превышения температуры электрического двигателя могли достигнуть установившихся значений, а периоды остановки вполне достаточны для охлаждения двигателя до температуры окружающей среды. Для этого режима работы рекомендуется следующая продолжительность рабочего периода $t_р$: 15, 30, 60, 90 мин.

Повторно-кратковременный S3 (рис. 16, *в*), при котором кратковременные периоды неизменной номинальной нагрузки (рабочие) чередуются с периодами отключения двигателя (паузами); при этом за время работы он не успевает нагреться до температуры, соответствующей его номинальной нагрузке, а за время паузы не успевает охладиться до температуры окружающей среды, т. е. вступает в следующий цикл нагрузки уже нагретым. Продолжительность одного цикла принимается 10 мин.

Относительная продолжительность включения

$$ПВ = \frac{N}{N+R} 100,$$

где N — время работы; R — время паузы; $N + R$ — время цикла.

Нормируемые значения продолжительности включения (ПВ): 15, 25, 40, 60 %, или $\varepsilon = N/N + R$ = 0,15; 0,25; 0,4; 0,6.

В этом режиме работы пусковые потери практически не оказывают влияния на превышение температуры отдельных частей электродвигателя.

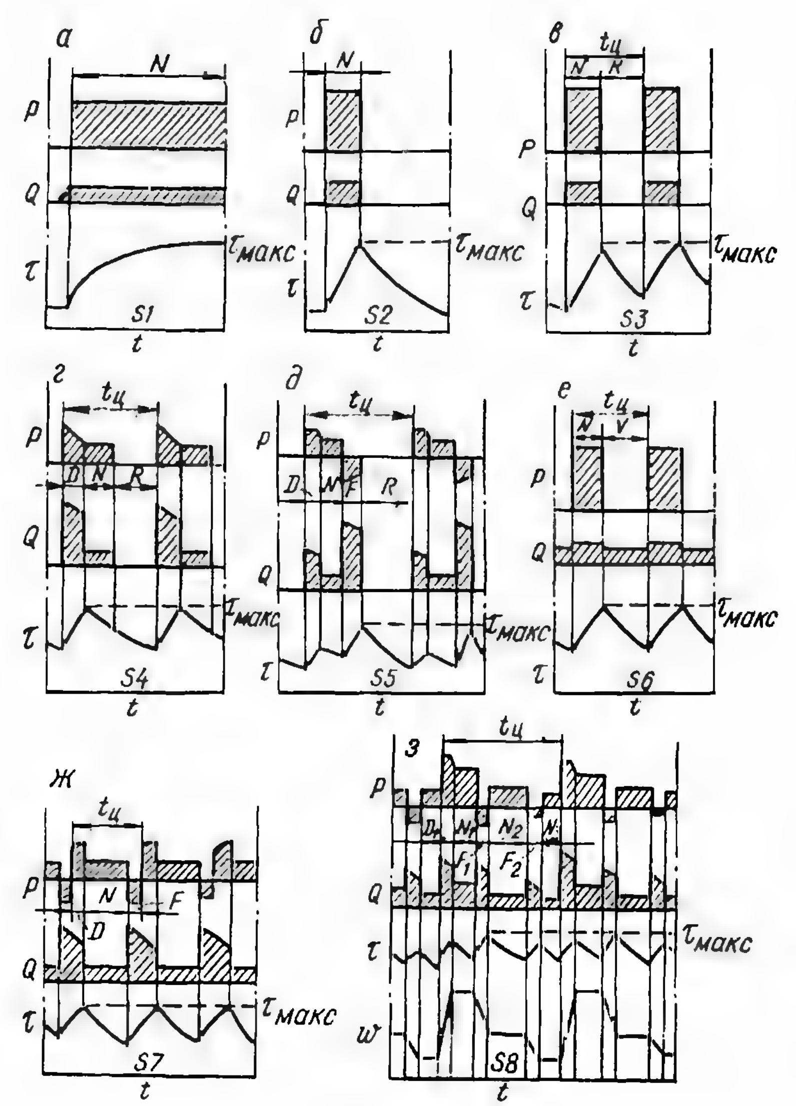


Рис 16 Стандартные номинальные режимы работы электрических двигателей и соответствующие изменения мощности P на валу двигателя, потерь Q и температуры τ во времени t:

а — продолжительный; *б* — кратковременный; *в* — повторно-кратковременный; *г* — повторно-кратковременный с частыми пусками, *д* — повторно-кратковременный с частыми пусками и электрическим торможением; *е* — перемежающийся, *ж* — перемежающийся с частыми реверсами и электрическим торможением, *з* — перемежающийся с двумя или более частотами вращения

Режимы S1, S2, S3 являются основными номинальные данные на которые включаются в паспорт электрического двигателя и каталоги.

Кроме основных предусмотрены дополнительные номинальные режимы S4—S8.

Повторно-кратковременный с частыми пусками S4 (рис. 16, *г*), при котором, в отличие от режима S3, пусковые потери оказывают существенное влияние на превышение температуры частей электродвигателя. Продолжительность включения (ПВ) составляет 15, 25, 40, 60 %; число включений в час 30, 60, 120, 240 при коэффициенте инерции $F = 1; 1{,}2; 1{,}6; 2{,}5; 4; 6{,}3; 10$. Коэффициент инерции — это отношение суммы приведенного к валу двигателя момента инерции приводимого механизма и момента инерции ротора двигателя к моменту инерции ротора двигателя.

Относительная продолжительность включения

$$\text{ПВ} = \frac{D + N}{D + N + R} 100,$$

где D — время пуска.

Повторно-кратковременный с частыми пусками и электрическим торможением S5 (рис. 16, *д*), при котором периоды пуска, кратковременной неизменной нагрузки и электрического торможения чередуются с периодами отключения, причем двигатель за время работы не успевает нагреться до температуры, соответствующей его номинальной нагрузке, а за время паузы не успевает охладиться до температуры окружающей среды.

В этом режиме пусковые потери и потери при электрическом торможении оказывают значительное влияние на превышение температуры отдельных частей двигателя. Продолжительность включения (ПВ) составляет 15, 25, 40, 60 %; число включений в час 30, 60, 120, 240 при коэффициенте инерции $F = 1; 1{,}2; 1{,}6; 2; 2{,}5; 4$.

Относительная продолжительность включения

$$\text{ПВ} = \frac{D + N + F}{D + N + F + R} 100,$$

где F — время электрического торможения.

Перемежающийся S6 (рис. 16, *е*) с продолжительностью нагрузки (ПН) 15, 25, 40, 60 %. Продолжительность одного цикла принимают равной 10 мин. Этот режим отличается от S3 тем, что после периода работы двигатель не отключается, а продолжает работать вхолостую.

Относительная продолжительность нагрузки

$$ПН = \frac{N}{N+V}100,$$

где V — время холостого хода.

Перемежающийся с частыми реверсами S7 (рис. 16, *ж*), при котором периоды реверса чередуются с периодами неизменной номинальной нагрузки, причем двигатель за время работы не успевает нагреться до температуры, соответствующей его номинальной нагрузке. Число реверсов в час 30, 60; 120, 240 при коэффициенте инерции $F = 1$; 1,2; 1,6; 2; 2,5; 4.

В этом режиме потери при реверсировании оказывают существенное влияние на превышение температуры отдельных частей двигателя, который работает без остановки, постоянно находясь под напряжением.

Перемежающийся с двумя и более частотами вращения S8 (рис. 16, *з*), при котором периоды с одной нагрузкой на одной частоте вращения чередуются с периодами работы на другой частоте вращения при соответствующей этой частоте нагрузке. Электродвигатель, работая на каждой из частот вращения, не успевает нагреться до температуры, соответствующей его номинальной нагрузке. Число циклов в час 30, 60, 120, 240 при коэффициенте инерции $F = 1$; 1,2; 1,6; 2; 2,5; 4.

Относительная продолжительность нагрузки на отдельных ступенях частоты вращения:

$$ПН_1 = \frac{D_1 + N_1}{D_1 + N_1 + F_1 + N_2 + F_2 + N_3}100;$$

$$ПН_2 = \frac{F_1 + N_1}{D_1 + N_1 + F_1 + N_2 + F_2 + N_3}100;$$

$$ПН_3 = \frac{F_2 + N_3}{D_1 + N_1 + F_1 + N_2 + F_2 + N_3}100,$$

где D_1 — время пуска; N_1, N_2, N_3 — время работы; F_1, F_2 — время электрического торможения.

В этом режиме работы потери при переходе с одной частоты вращения на другую оказывают существенное влияние на превышение температуры отдельных частей электродвигателя.

Допустимый нагрев электродвигателя обычно лимитируется наименее теплостойкими материалами его конструкции. Таким материалом является изоляция его обмотки. Допустимая температура устанавливается исходя из срока службы изоляции — примерно десять лет. В качестве изоляционных материалов для асинхронных электродвигателей применяют хлопчатобумажные и шелковые ткани, пряжу, бумагу, волокнистые органические материалы, пропитанные изолирующими составами (класс А); синтетические органические пленки (класс Е); слюду, асбест, стекловолокно с органическими связующими материалами (класс В); те же компоненты, что и для класса В, но с синтетическими связующими и пропитывающими веществами (класс F); те же компоненты, что и для класса В, но с кремнийорганическими связующими и пропитывающими веществами (класс Н). Изоляции всех перечисленных классов соответственно допускают предельные температуры в 105, 120, 130, 155, 180 °С (см. табл. 12).

Мощность электродвигателя по условиям нагрева считается выбранной правильно, если при заданном режиме работы температура изоляции не превысит допустимую для данного класса.

При одной и той же нагрузке электродвигателя установившийся нагрев его будет различным в зависимости от температуры окружающей среды. За расчетную температуру t_0 окружающей среды принимают 40 °С. К этой температуре отнесены значения номинальной мощности $P_н$ электродвигателей. Превышение температуры t электродвигателя над температурой t_0 окружающей среды называют перегревом:

$$\tau = t - t_0.$$

Таким образом превышения температуры (перегрев), измеренные в наиболее нагретой доступной точке, не должны быть выше: 65 °С — для изоляции класса А; 80 °С — для изоляции класса Е; 90 °С — для изоляции класса В; 115 °С — для изоляции класса F; 135 °С — для изоляции класса Н.

Температура подшипников скольжения не должна превышать 80 °С (температура масла при этом не более 65 °С), подшипников качения 100 °С. Более высокая температура допускается, если применены специальные подшипники

качения или специальные сорта масел при соответствующих материалах для подшипников скольжения.

Если условно принять, что электродвигатель представляет собой однородное в тепловом отношении и бесконечно теплопроводное тело, что теплоотдача в окружающую среду пропорциональна разности температур двигателя и охлаждающей среды (перегреву), что температура окружающей среды постоянна, то можно записать следующее уравнение баланса тепловой энергии:

$$Qdt = A\tau\, dt + Cd\tau,$$

где Q — мощность тепловых потерь, Вт; A — теплоотдача двигателя, т. е. количество теплоты, выделяемой двигателем в окружающую среду в единицу времени при разности температур электродвигателя и окружающей среды в 1 °С, Дж/с°С; C — теплоемкость двигателя, т. е. количество теплоты, необходимое для повышения температуры двигателя на 1 °С, Дж/°С.

Из уравнения определяем dt:

$$dt = \frac{Cd\tau}{Q - A\tau}.$$

Интегрируем левую часть равенства в пределах от нуля до некоторого текущего значения времени t и правую часть в пределах от некоторого начального перегрева τ_0 электродвигателя до текущего значения перегрева τ:

$$\int_0^t dt = \int_{\tau_0}^{\tau} \frac{Cd\tau}{Q - A\tau}.$$

Решая уравнение относительно τ, получим формулу нагрева электродвигателя:

$$\tau = \frac{Q}{A}\left(1 - e^{-\frac{tA}{C}}\right) + \tau_0 e^{-\frac{tA}{C}}.$$

Обозначим $\frac{C}{A} = T$, с,

где T — постоянная времени нагрева, т. е. время, в течение которого двигатель достиг бы установившейся температуры $\tau_у$, если бы не было отдачи тепла в окружающую среду. В соответствии с этим обозначением уравнение нагрева примет вид:

$$\tau = \frac{Q}{A}\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) + \tau_0 e^{-\frac{t}{T}}.$$

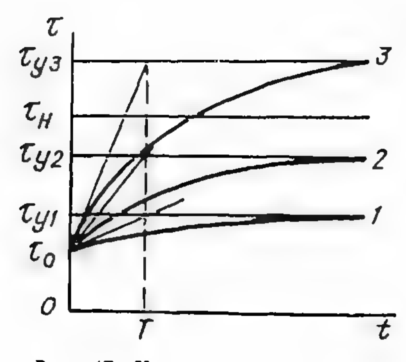


Рис. 17. Кривые, характеризующие нагрев электродвигателя

При $t = \infty$ получим $\tau_у = \frac{Q}{A}$, где $\tau_у$ — установившееся значение перегрева.

В реальных условиях при наличии теплоотдачи температура двигателя за время T повысится лишь до значения $\tau = 0{,}632\ \tau_у$. Если $t = T$, то

$$\tau = \tau_у (1 - e^{-1}) = 0{,}632\ \tau_у .$$

На рис. 17 приведены кривые нагрева для различных значений нагрузки. Если $\tau_у$ превышает величину допустимого перегрева $\tau_н$, продолжительная работа двигателя не разрешается.

Нарастание перегрева носит асимптотический характер. Процесс нагрева практически можно считать законченным за время $t = 3T$.

Постоянную времени нагрева T можно определить графически. Для этого через произвольную точку C кривой нагрева 1 (рис. 18) необходимо провести касательную к кривой нагрева, затем через ту же точку провести вертикаль. Отрезок de асимптоты, заключенный между касательной и вертикалью, в масштабе оси абсцисс равен T.

Если принять $Q = 0$, то получим уравнение охлаждения электродвигателя:

$$\tau = \tau_0\, e^{-\frac{t}{T}}.$$

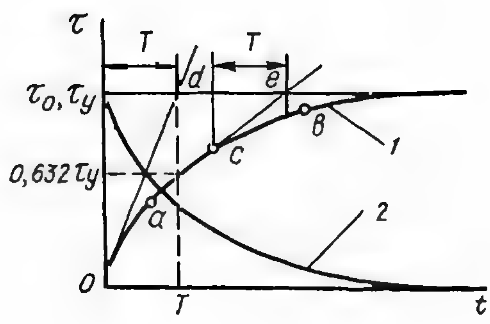


Рис. 18. Определение постоянной времени нагрева

Этому уравнению соответствует кривая охлаждения 2. Продолжительность нагревания при нагрузке зависит от конструкции, габаритов и способов охлаждения двигателя.

Электродвигатели небольшой мощности (порядка нескольких киловатт) нагреваются до установившейся температуры в течение нескольких десятков минут, мощные электродвигатели — нескольких часов. Температура считается установившейся, если ее повышение за 1 час работы двигателя не превышает 1 °С.

ВЫБОР МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

Нагрузка продолжительная неизменная или малоизменяющаяся

Мощность электродвигателей для механизмов, работающих при длительно неизменной или мало изменяющейся нагрузке, выбирается следующим образом. Определяется мощность производственного механизма и с учетом КПД промежуточных передач по каталогу выбирается двигатель, номинальная мощность которого равна или немного больше расчетной мощности механизма. Так как нагрузка в данном случае постоянная, то проверка на нагрев и перегрузку во время работы выбранного двигателя не требуется.

Если мощность механизма неизвестна, ее определяют теоретическими расчетами или расчетами по эмпирическим формулам с использованием коэффициентов, полученных путем многочисленных опытов.

Металлорежущие станки. Мощность (кВт) электродвигателя для токарных, токарно-винторезных, карусельных и строгальных станков

$$P = \frac{F_p q v}{\eta_c} 10^{-3},$$

где F_p — удельное сопротивление резанию, Па; q — сечение стружки, м²; v — скорость резания, м/с; η_c — КПД станка (при полной нагрузке 0,65—0,7).

Обычно принимают $F_p = (3—5) F_{раз}$, где $F_{раз}$ — сопротивление разрыву, Па. Сопротивление разрыву для

стали $F_{раз}$ = (294—1180) 10^6 Па; для чугуна $F_{раз}$ = (118—296) 10^6 Па; для латуни и бронзы $F_{раз}$ = (147—197) 10^6 Па.

Мощность (кВт) электродвигателя для сверлильных станков

$$P = \frac{M_{св} n_{св}}{\eta_0} 10^{-4},$$

где $M_{св}$ — момент на сверле, Н·м; $n_{св}$— скорость вращения сверла, об/мин; $\eta_с$ — КПД станка (0,7—0,8).

Пример 14. Определить мощность электродвигателя для привода токарного станка. Материал — сталь $F_р = 1400 \cdot 10^6$ Па, подача $S = 2$ мм, глубина резания $t = 5$ мм, скорость резания $v = 15$ м/мин, $\eta_с = 0,7$.

Сечение стружки

$$q = St = 2 \cdot 5 = 10 \text{ мм}^2 = 10 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Мощность электродвигателя станка

$$P = \frac{F_р q v}{\eta_0} 10^{-3} = \frac{1400 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 15}{60 \cdot 0,7} 10^{-3} = 5 \text{ кВт}.$$

По каталожным данным асинхронных электродвигателей серии 4А выбираем двигатель 4А112М4У3, $P_н = 5,5$ кВт, $n_н = 1445$ об/мин.

Вентиляторы. Мощность (кВт) электродвигателя центробежного вентилятора

$$P = \frac{QH}{\eta_в \eta_п} 10^{-3},$$

где Q — производительность, м³/с; H — давление газа, Па; $\eta_в$ — КПД вентилятора (0,2—0,5 для малых и 0,4—0,75 для больших); $\eta_п$ — КПД передачи от двигателя к валу вентилятора.

Производительность вентилятора определяется на основании сечения газопровода F (м²) и заданной скорости движения газа v (м/с):

$$Q = Fv.$$

Производительность (м³/с) может быть определена также по формуле:

$$Q — q/\gamma,$$

где q — масса газа, перекачиваемого в секунду, кг/с; γ — плотность газа, Н/м³.

Давление (Па) газа вентиляторной установки определяется (пренебрегая статическим давлением) величиной скоростного давления

$$H = \frac{v^2 \gamma}{2g},$$

где g — ускорение, м/с^2.

Так как во время работы электродвигателя возможны его перегрузки за счет неучтенных или меняющихся условий работы вентилятора, то рекомендуется полученную расчетную мощность двигателя увеличить на коэффициент запаса, принимаемый для двигателей мощностью до 1 кВт — 2; до 2 кВт — 1,5; до 5 кВт — 1,25 и свыше 5 кВт — 1,15—1,1.

В большинстве случаев вентиляторы соединяются с электродвигателями непосредственно, однако в отдельных установках при тихоходных вентиляторах возникает необходимость в промежуточных передачах.

Для вентиляторов низкого и среднего давления малой производительности устанавливаются асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором с обычной пусковой аппаратурой. Для вентиляторов большой производительности и высокого давления могут устанавливаться асинхронные электродвигатели с контактными кольцами или синхронные электродвигатели.

Пример 15. Определить мощность электродвигателя для привода вентилятора при следующих данных: $Q = 16\,015$ м^3/ч, $H = 730$ Па (75 мм вод. ст.), $\eta_в = 0,6$, $\eta_п = 1$, $n = 1500$ об/мин.

Расчетная мощность (кВт) электродвигателя

$$P = \frac{QH}{\eta_в \eta_п} 10^{-3} = \frac{16015 \cdot 730}{3600 \cdot 0,6 \cdot 1} 10^{-3} = 5,4 \text{ кВт}.$$

Увеличиваем ее на коэффициент запаса 1,1:

$P = 5,4 \cdot 1,1 = 5,9$ кВт.

По каталожным данным асинхронных электродвигателей серии 4А выбираем двигатель 4А112М4У3, $P_н = 5,5$ кВт, $n_н = 1445$ об/мин.

Насосы. Мощность (кВт) электродвигателя насоса

$$P = \frac{QH\gamma}{\eta_н \eta_п} 10^{-3},$$

где Q — производительность, м^3/с; H — полный напор (расчетная высота подачи), м; $H = H_в + H_н$; $H_в$ — высота всасывания, т. е. расстояние от уровня жидкости до оси насоса; $H_н$ — высота нагнетания, т. е. расстояние от оси насоса до наиболее высокого пункта потребления; γ — удельный вес перекачиваемой жидкости, Н/м^3, $\eta_н$ — КПД насоса (0,8—0,9 для поршневых насосов; 0,5—0,85 для центро-

бежных насосов высокого давления; 0,4—0,6 для центробежных насосов низкого давления); $\eta_п$ — КПД передачи (0,85—0,9 — ременной; 0,97—0,98 — клиноременной; 0,98— зубчатой; 1 — при непосредственном соединении при помощи муфты).

Ввиду возможной перегрузки электродвигателя во время работы за счет меняющихся условий работы насоса рекомендуется полученную расчетную мощность двигателя увеличить на коэффициент запаса, принимаемый для двигателей мощностью до 1 кВт — 2; до 2 кВт — 1,5; до 5 кВт — 1,25; до 50 кВт — 1,1 и свыше 50 кВт — 1,05.

При выборе электродвигателя к центробежному насосу следует обращать внимание на частоту вращения электродвигателя, так как мощность, напор, момент и производительность центробежного насоса связаны с частотой вращения следующими соотношениями:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{n_1^3}{n_2^3}; \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2}; \quad \frac{M_1}{M_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2}; \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}.$$

Основным электрическим оборудованием насосных установок являются низковольтные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором или с контактными кольцами в защищенном или закрытом обдуваемом исполнении, пусковая и защитная аппаратура.

При мощности электродвигателей свыше 100 кВт для центробежных насосов используются двигатели напряжением выше 1000 В.

Пример 16. Определить мощность электродвигателя для привода центробежного насоса в системе водоснабжения при следующих данных: $Q = 14{,}4$ м³/ч, $H = 22$ м, $\gamma = 9880$ Н/м³, $\eta_н = 0{,}5$, $\eta_п = 1$, $n_н = 1435$ об/мин. Проверить мощность, производительность и напор насоса при частоте вращения $n_2 = 1000$ об/мин.

Расчетная мощность (кВт) электродвигателя

$$P = \frac{QH\gamma}{\eta_н \eta_п} 10^{-3} = \frac{14{,}4 \cdot 22 \cdot 9880}{3600 \cdot 0{,}5 \cdot 1} 10^{-3} = 1{,}74 \text{ кВт}.$$

Увеличиваем ее на коэффициент запаса 1,5:

$P = 1{,}74 \cdot 1{,}5 = 2{,}6$ кВт.

По каталожным данным асинхронных электродвигателей серии 4А выбираем двигатель 4А100S4У3, $P_н = 3$ кВт, $n_н = 1435$ об/мин.

При $n_2 = 1000$ об/мин мощность, напор и производительность насоса составят:

$$P_2 = P_1 \frac{n_2^3}{n_н^3} = 3 \frac{1000^3}{1435^3} = 1 \text{ кВт},$$

$$Q_2 = Q_1 \frac{n_2}{n_н} = 14,4 \cdot \frac{1000}{1435} = 10 \text{ м}^3/\text{ч},$$

$$H_2 = H_1 \frac{n_2^2}{n_н^2} = 22 \frac{1000^2}{1435^2} = 10,7 \text{ м}.$$

Компрессоры. Мощность (кВт) электродвигателя поршневого компрессора:

$$P = \frac{QAK}{\eta_к \eta_п} 10^{-3},$$

где Q — производительность (количество всасываемого свободного воздуха, приведенного к нормальным условиям, т. е. к давлению 1011 гПа (760 мм рт. ст.) и температуре 0 °С), м³/с; A — работа, затрачиваемая на сжатие 1 м³ воздуха до заданной величины давления (принимается по табл. 42), Дж; K — коэффициент запаса, равный 1,1—1,8 (нижний предел — для компрессоров большой мощности, верхний — малой мощности); $\eta_к$ — КПД компрессора (0,5—0,55 при производительности до 10 м³/мин; 0,55—0,6 — до 50 м³/мин и 0,6—0,7 — более 50 м³/мин); $\eta_п$ — КПД ременной передачи (0,9—0,95).

42. Работа, затрачиваемая на сжатие 1 м³ воздуха

Конечное давление, Па	Работа, Дж	Конечное давление, Па	Работа, Дж
15 000	41 750	60 000	207 000
20 000	73 000	70 000	227 000
30 000	119 500	80 000	247 000
40 000	155 000	90 000	263 500
50 000	183 000	100 000	278 500

Для привода поршневого компрессора устанавливается асинхронный или синхронный электродвигатель.

Пример 17. Определить мощность электродвигателя для привода поршневого компрессора при следующих данных: $Q = 10$ м³/мин, конечное давление 80 000 Па (8 ат), $\eta_к = 0,7$, $\eta_п = 0,9$, $n = 1500$ об/мин.

По табл. 42 находим, что конечному давлению 80 000 Па соответствует работа сжатия A = 247 000 Дж.

Расчетная мощность (кВт) электродвигателя

$$P = \frac{QAK}{\eta_к \eta_п} 10^{-3} = \frac{10 \cdot 247\,000 \cdot 1,1}{60 \cdot 0,7 \cdot 0,9} 10^{-3} = 71,5 \text{ кВт}.$$

По каталожным данным асинхронных электродвигателей серии 4А выбираем двигатель 4АН225М4У3, $P_н = 75$ кВт, $n_н = 1475$ об/мин.

Ленточные транспортеры и конвейеры, винтовые транспортеры. Мощность (кВт) электродвигателя

$$P = \frac{KQ}{270\eta}(CL + H),$$

где Q — производительность транспортера (конвейера), т/ч; L — длина транспортера между барабанами, м; H — высота подъема транспортера, м; K — коэффициент запаса (1,2—1,3); η — КПД механизма (0,75—0,8); C — расчетный коэффициент, принимаемый по табл. 43.

43. Значение коэффициента C для определения мощности ленточных конвейеров

L, м	Q, т/ч					
	10	20	50	100	200	400
10	2,00	1,40	0,92	0,67	0,50	0,37
50	0,66	0,50	0,35	0,27	0,22	0,18
125	0,35	0,28	0,21	0,17	0,14	0,12

Пластинчатые транспортеры. Мощность (кВт) электродвигателя

$$P = CKQ/270\,\eta,$$

где C — расчетный коэффициент, принимаемый по табл. 44.

Ковшовые транспортеры (элеваторы). Мощность (кВт) электродвигателя

$$P = KQH/270\,\eta,$$

где η — КПД элеваторной установки (0,3—0,5).

Грузоподъемные механизмы. Мощность (кВт) электродвигателя для привода грузоподъемной лебедки

$$P = \frac{(F + F_0)\,v}{\eta_п} 10^{-3},$$

где F и F_0 — сила тяжести поднимаемого груза и грузозахватного устройства (крюка, грейфера и т. п.), Н; v — скорость подъема, м/с; $\eta_п$ — КПД передачи (для одноступенчатого редуктора 0,8—0,9; двухступенчатого 0,75—0,8; трехступенчатого 0,65—0,75).

При использовании лебедки для такелажных работ мощность (кВт) электродвигателя

44. Значение коэффициента C для определения мощности пластинчатых конвейеров

Ширина ленты, м	Q, т/ч	Значение C
0,4	17	0,32
0,6	40	0,19
0,8	62	0,16
1,0	78	0,14
1,2	97	0,30

$$P = \frac{Fv}{\eta_п} 10^{-3},$$

где F — тяговое усил ие, Н.

Пример 18. Определить мощность электродвигателя для привода лебедки грузоподъемностью $G = 3т$, масса грузозахватного устройства $G_0 = 100$ кг, $v = 15$ м/мин, $\eta_п = 0,9$.

$$P = \frac{9,8(G + G_0)v}{\eta_п} 10^{-3} = \frac{9,8(3000 + 100)15}{60 \cdot 0,9} 10^{-3} =$$
$$= 8,6 \text{ кВт}.$$

Круглопильные станки, пилорамы. Мощность (кВт) электродвигателя для привода круглопильного станка

$$P = (8—10)D,$$

где D — расчетный диаметр бревна, м (равен $0,3 + \sqrt{0,1 + 2,5d^2}$; d — диаметр бревна).

Мощность (кВт) электродвигателя для привода пилорамы

$$P = Fv\,10^{-3}/\eta_с,$$

где F — усилие резания, Н; v — средняя скорость пилы, м/с; $\eta_с$ — КПД станка.

Усилие резания

$$F = KSh_\Sigma\sigma/2H,$$

где K — коэффициент резания, равный $(11—20)\,10^7$ в зависимости от породы дерева: для сосны $11 \cdot 10^7$, березы $13 \cdot 10^7$, дуба $20 \cdot 10^7$; S — толщина пилы, м; h_Σ — общая высота пропила, м; σ — скорость подачи, м/с (0,03—0,08); $H = 2r$, где r — радиус кривошипа.

Общая высота пропила $h_\Sigma = 0,75zd$, где z — число пил; d — диаметр бревна, м.

Пример 19. Определить мощность электродвигателя для привода пилорамы при следующих данных: $d = 250$ мм $= 0,25$ м, $z = 6$, $r = 200$ мм $= 0,2$ м, $S = 2$ мм $= 0,002$ м, $\sigma = 6$ мм/с $= 0,006$ м/с, дерево — сосна, $K = 11 \cdot 10^7$, $n = 250$ об/мин, $\eta_с = 0,8$.

Общая высота пропила

$$h_\Sigma = 0,75zd = 0,75 \cdot 6 \cdot 0,25 = 1,1 \text{ м}.$$

Усилие резания

$$F = KSh_\Sigma\sigma/2H = 11 \cdot 10^7 \cdot 0,002 \cdot 1,1 \cdot 0,006/2 \cdot 0,4 = 3640 \text{ Н}.$$

Средняя скорость пилы

$$v = 2Hn/60 = 2 \cdot 0,4 \cdot 250/60 = 3,33 \text{ м/с}.$$

Мощность электродвигателя

$$P = Fv10^{-3}/\eta_с = 3640 \cdot 3,33 \cdot 10^{-3}/0,8 = 15 \text{ кВт}.$$

Нагрузка длительная переменная

При длительной переменной нагрузке работа электропривода характеризуется нагрузочным графиком, подобным представленному на рис. 19.

Для работы с переменной нагрузкой электродвигатель должен быть выбран так, чтобы он мог работать с наибольшей по графику мощностью (выбор по перегрузке) и чтобы при работе по заданному графику нагрузки двигатель не перегревался свыше нормы (выбор по нагреву). Из двух номинальных мощностей, определяемых из этих условий, выбирают бóльшую.

Мощность по перегрузке

$$P_{н1} = P_м / \lambda_1,$$

где $P_{н1}$ — номинальная мощность двигателя, необходимая по условиям перегрузки; $P_м$ — наибольшая мощность по графику нагрузки, соответствующая работе двигателя в установившемся режиме; λ_1 — коэффициент допустимой перегрузки: $\lambda_1 = M_м / M_н$, где $M_м$ и $M_н$ — максимально допустимый и номинальный моменты двигателя.

Асинхронный двигатель при нагрузках, превышающих максимальный момент, останавливается. Если при этом он остается включенным в электрическую сеть, то его обмотки будут сильно нагреваться и могут сгореть. Это приведет к

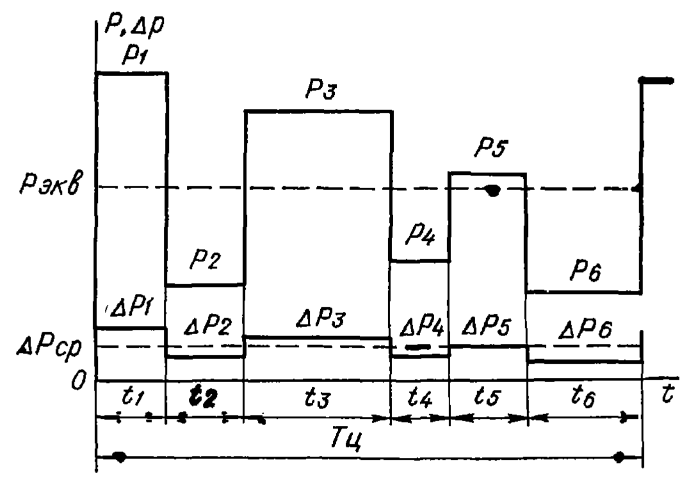


Рис. 19. График длительной работы с переменной нагрузкой

выходу электрического двигателя из строя. Поэтому коэффициент допустимой перегрузки ($\lambda_{доп}$) асинхронного двигателя определяется по его максимальному моменту с учетом возможного снижения напряжения заводской сети на 10 %:

$$\lambda_{доп}(U/U_н)^2 M_м/M_н = 0,81 M_м/M_н .$$

Следовательно, для асинхронного двигателя

$$P_{н1} = P_м/\lambda_{доп}.$$

Значения $M_м/M_н$ указываются в каталогах.

Определение мощности электродвигателя по нагреву заключается в нахождении такой постоянной по величине мощности $P_{экв}$, которая по количеству тепла, выделяемого в электродвигателе за время $t_ц$, эквивалентна данному режиму ступенчатой нагрузки.

Существует несколько методов расчета мощности двигателя по нагреву: метод средних потерь, методы эквивалентного тока, момента и мощности.

Метод средних потерь. Сущность этого метода заключается в нахождении средних потерь двигателя $\Delta p_{ср}$ при заданном графике нагрузки и сравнении их с номинальными потерями $\Delta p_н$, на которые рассчитан двигатель при длительной работе. Предполагается, что при $\Delta p_{ср} = \Delta p_н$ двигатель будет работать с допустимой для него температурой.

Из графика (рис. 19) определяют среднюю мощность потерь

$$\Delta p_{ср} = \frac{\Delta p_1 t_1 + \Delta p_2 t_2 + \dots + \Delta p_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n},$$

а затем необходимую мощность $P_н$ электродвигателя. Для этого в каталоге нужно отыскать электродвигатель, у которого потери при номинальной нагрузке равны или несколько больше $\Delta p_{ср}$.

Потери энергии $\Delta A_i = \Delta p_i t_i$, соответствующие различным значениям мощности на валу электродвигателя при его работе по данному нагрузочному графику, могут быть определены, если известна зависимость $\eta = (P)$. При любой мощности P_i на валу электродвигателя потери

$$\Delta p_i = \frac{P_i}{\eta_i} - P_i ,$$

где η_i — КПД электродвигателя, соответствующий мощности P_i .

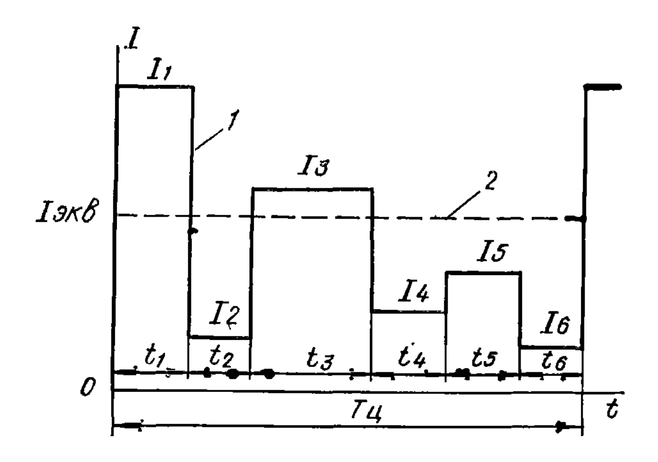


Рис. 20. Изменение тока электродвигателя при переменной нагрузке *(1)* и эквивалентный ток *(2)*

Для выбора мощности электродвигателя целесообразно сначала найти его номинальную мощность по условиям перегрузки и по данным каталога построить график $\Delta p =$ $= (P)$. После нахождения средних потерь по формуле, приведенной выше, сравнивают их с номинальными потерями двигателя, соответствующими его номинальному КПД.

Если $\Delta p_{ср} \leqslant \Delta p_н$, следовательно, двигатель выбран правильно. При $\Delta p_{ср} > \Delta p_н$ по каталогу находят электродвигатель ближайшей большей мощности и исходя из его данных повторяют расчет.

На практике чаще пользуются более удобными, хотя и менее точными методами эквивалентных величин.

Методы эквивалентного тока, момента и мощности. Метод эквивалентного тока основан на том, что проходящий в двигателе и изменяющийся по величине фактический ток заменяется в расчетах эквивалентным постоянным током $I_{экв}$, который вызывает в электродвигателе те же потери, что и фактический (рис. 20).

Величина эквивалентного тока

$$I_{экв} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \ldots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \ldots + t_n}},$$

или в общем случае

$$I_{экв} = \sqrt{\frac{1}{T_ц}\int\limits_0^{T_ц} i^2(t)\,dt}.$$

Полученная величина эквивалентного тока сопоставляется с номинальным током выбранного двигателя. Если $I_{экв} \leqslant I_н$, то двигатель отвечает условиям использования его по нагреву.

Для проверки электродвигателя по нагреву часто пользуются графиками момента или мощности.

Величина эквивалентного момента определяется по формуле:

$$M_{экв} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \ldots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \ldots + t_n}}.$$

Эквивалентный момент сопоставляется с номинальным моментом двигателя. Если $M_{экв} \leqslant M_н$, то двигатель отвечает условиям использования его по нагреву.

Метод эквивалентного момента приемлем для асинхронных двигателей, работающих в пределах устойчивой части механической характеристики.

Эквивалентная мощность для ступенчатого графика определяется по формуле:

$$P_{экв} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \ldots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \ldots + t_n}}$$

и сравнивается с номинальной мощностью двигателя. Если $P_{экв} \leqslant P_н$, то электродвигатель отвечает условиям использования его по нагреву.

Метод эквивалентной мощности может быть использован для проверки по нагреву асинхронных двигателей, работающих с постоянной или мало меняющейся частотой вращения.

Методы эквивалентного тока, момента и мощности основаны на допущении равенства среднего и максимального перегревов. Это допущение возможно, если постоянная времени нагрева электродвигателя значительно превышает время цикла.

Метод эквивалентного тока предпочтителен для асинхронных электродвигателей со значительной слагаемой тока холостого хода, доходящей для некоторых серий электродвигателей до 40—60 % номинального тока.

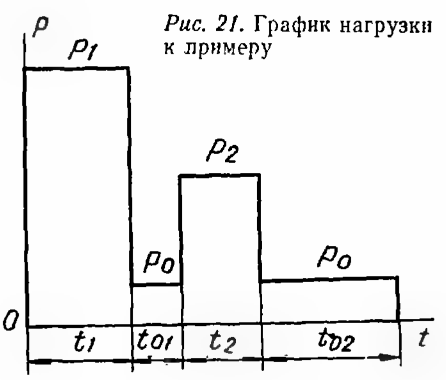


Рис. 21. График нагрузки к примеру

Пример 20. На токарном станке установлен асинхронный двигатель типа 4А100L4У3, $P_н = 4$ кВт, $n_0 = 1500$ об/мин. Вследствие изменения технологического процесса мощность резания на станке изменилась и составляет: при черновой обработке $P_{р1} = 8{,}3$ кВт, при чистовой $P_{р2} = 4{,}2$ кВт. По данным хронометража, время черновой обработки $t_1 = 20$ с, чистовой $t_2 = 11$ с, время паузы $t_{01} = 7$ с, $t_{02} = 25$ с. Мощность на валу двигателя при холостом ходе $P_0 = 0{,}5$ кВт. КПД станка $\eta_{с.н} = 0{,}8$. Во время пауз двигатель от сети не отключается. Следует ли заменять двигатель?

Мощность на валу электродвигателя при черновой обработке

$$P_1 = P_{р1}/\eta_{с\,н} = 8{,}3 : 0{,}8 = 10{,}37 \text{ кВт},$$

при чистовой обработке

$$P_2 = P_{р2}/\eta_{с\,н} = 4{,}2 : 0{,}8 = 5{,}25 \text{ кВт}.$$

График нагрузки станка, построенный по данным расчета, представлен на рис. 21.

Эквивалентная мощность нагрузки

$$P_{экв} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_0^2 t_{01} + P_2^2 t_2 + P_0^2 t_{02}}{t_1 + t_{01} + t_2 + t_{02}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{10{,}37^2 \cdot 20 + 0{,}5^2 \cdot 7 + 5{,}25^2 \cdot 11 + 0{,}5^2 \quad 25}{20 + 7 + 11 + 25}} = 6{,}3 \text{ кВт}.$$

Значит, установленный на станке электродвигатель необходимо заменить, так как для него $P_н = 4$ кВт $< P_{экв} = 6{,}3$ кВт.

По данным для асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором серии 4А определяем, что необходимо установить двигатель типа 4А132S4У3, $P_н = 7{,}5$ кВт, $n_н = 1455$ об/мин, так как для него $P_н = 7{,}5$ кВт $> P_{экв} = 6{,}3$ кВт.

Номинальный момент двигателя

$$M_н = \frac{P_н}{n_н} 10^4 = \frac{7{,}5}{1455} 10^4 = 51 \text{ Н·м}.$$

Наибольший момент нагрузки

$$M_м = \frac{P_1}{n_н} 10^4 = \frac{10{,}37}{1455} 10^4 = 70 \text{ Н·м}.$$

Перегрузочная способность двигателя по каталогу $M_м / M_н = 2{,}2$.

Перегрузочная способность двигателя с учетом возможного снижения напряжения

$$\lambda_{доп} = 0,8\frac{M_м}{M_н} = 0,8 \cdot 2,2 = 1,76.$$

Допустимый момент двигателя

$M_{доп} = 1,76 \cdot M_н = 1,76 \; 51 = 90$ Н м.

Проверяем двигатель по перегрузочной способности.

$M_м = 70$ Н м $< M_{доп} = 90$ Н м. Таким образом, двигатель по перегрузочной способности подходит.

Кратковременный режим работы

Кратковременный режим работы электродвигателя характеризуется графиком, представленным на рис. 16, *б*. В таком режиме работают электроприводы задвижек трубопроводов, различных зажимных и вспомогательных устройств. Увеличение времени работы двигателя при данной нагрузке ведет к возрастанию его перегрева, уменьшение времени — к снижению.

При кратковременной нагрузке могут использоваться электродвигатели продолжительного режима, но рациональнее применять специальные двигатели кратковременного режима, имеющие повышенную перегрузочную способность.

Если для кратковременного режима работы выбирается электродвигатель с длительной номинальной мощностью $P_н$ и номинальным моментом $M_н$, то значение момента $M_р$, допустимого в течение кратковременной работы $t_р$, определяется по формуле:

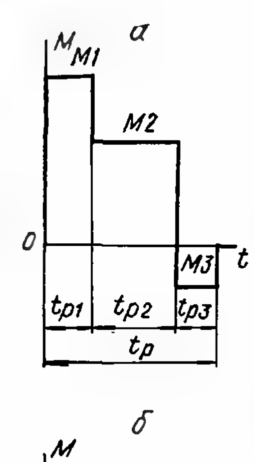
$$M_р = M_н \sqrt{\frac{\gamma + 1}{1 - e^{-t_р/T}} - \gamma},$$

где γ — коэффициент потерь; $\gamma = K_н/v_н$; $K_н$ и $v_н$ — номинальные постоянные и переменные потери; T — постоянная времени нагрева.

Найденное значение $M_р$ не должно превышать допустимого по условиям перегрузки значения $M_{доп}$.

Время, в течение которого двигатель может работать с моментом $M_р$ не перегреваясь

$$t_р = \frac{1}{T} \ln \frac{\gamma M_н^2 + M_р^2}{M_р^2 - M^2}.$$



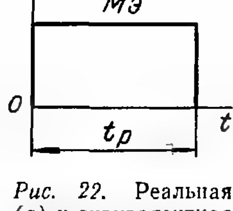


Рис. 22. Реальная (*а*) и эквивалентная (*б*) нагрузочные диаграммы электродвигателя при кратковременном режиме работы

Если график кратковременного режима многоступенчатый (рис. 22, *а*), то можно перейти к эквивалентному графику (рис. 22, *б*):

$$M_{экв} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_{р1} + M_2^2 t_{р2} + M_3^2 t_{р3}}{t_р}}.$$

В случае применения электродвигателей кратковременного режима работы (с нормированной длительностью работы 15, 30, 60 и 90 мин) и при условии, что время кратковременной работы $t_р$ равно одному из времен $t_{рн}$, для которого в каталоге указана номинальная мощность $P_н$, двигатель выбирается по соотношению $P_н \geqslant P_р$ или $M_н \geqslant M_р$.

Если $t_р \neq t_{рн}$, то предварительно выбирается двигатель, имеющий по каталогу значения $t_{рн}$ и $P_н$, ближайшие к заданным значениям $t_р$ и $P_р$.

Затем определяются потери в двигателе $\Delta p_н$ при номинальной мощности $P_н$ и $\Delta p_р$ — при мощности $P_р$.

Электродвигатель выбран правильно, если

$$\Delta p_н \geqslant \Delta p_р \frac{1 - e^{-t_р/T}}{1 - e^{-t_{рн}/T}}.$$

При малых значениях $t_р$ двигатели выбирают только по условиям допустимой перегрузки $M_{доп} \geqslant M_р$ и пусковому моменту $M_{пуск} > M_{с.\,макс}$, где $M_{пуск}$ — момент пусковой; $M_{с.\,макс}$ — момент сопротивления максимальный.

Пример 21. Определить мощность электродвигателя для перемещения суппорта токарного станка. Сила тяжести (вес) суппорта $G = 3600$ Н, скорость перемещения $v = 0,2$ м/с, коэффициент трения в направляющих $\mu = 0,1$, КПД передачи $\eta = 0,15$, коэффициент трения покоя $\mu_0 = 0,2$. Частота вращения двигателя $n = 1380$—1450 об/мин.

Мощность двигателя с учетом кратковременной перегрузки ($\lambda = 1,6$)

$$P = \frac{G\mu v}{\lambda\eta} 10^{-3} = \frac{3600 \cdot 0,1 \cdot 0,2}{1,6 \cdot 0,15} 10^{-3} = 0,3 \text{ кВт}.$$

По каталогу подбираем асинхронный электродвигатель типа

4А71А4У3, $P_н = 0{,}55$ кВт, $n_н = 1390$ об/мин, $n_0 = 1500$ об/мин. $M_{пуск}/M_н = 2$, $M_м/M_н = 2{,}2$.

Проверяем электродвигатель по перегрузке. Так как

$$0{,}85\frac{M_м}{M_н} \geqslant \lambda;\ 0{,}85\cdot 2{,}2 = 1{,}87 > \lambda = 1{,}6,$$

следовательно, двигатель по перегрузке выбран правильно.

Номинальный момент двигателя

$$M_н = \frac{P_н}{n_н}10^4 = \frac{0{,}55}{1390}10^4 = 3{,}9\ Н\cdot м.$$

Пусковой момент двигателя

$M_{пуск} = 2M_н = 2\cdot 3{,}9 = 7{,}8$ Н м.

Номинальное скольжение

$S_н = (n_0 - n_н)/n_0 = (1500 - 1390)/1500 = 0{,}06$.

Синхронная угловая скорость электродвигателя

$\omega_0 = \pi n_0/30 = 3{,}14\cdot 1500/30 = 157$ рад/с.

Момент сопротивления при трогании с места

$$M_{с.макс} = \frac{G\mu_0 v}{\eta\omega_0(1-\lambda S_н)} = \frac{3600\cdot 0{,}2\cdot 0{,}2}{0{,}15\cdot 157(1-1{,}6\cdot 0{,}06)} = 6{,}32\ Н\cdot м.$$

Так как $0{,}85\ M_{пуск} = 0{,}85\cdot 7{,}8 = 6{,}63$ Н · м $> M_{с.макс} = 6{,}32$ Н · м, значит, двигатель выбран правильно.

Повторно-кратковременный режим работы

Для повторно-кратковременного режима электродвигатели выбираются из серии нормального исполнения либо из серии краново-металлургических.

Если для этого режима применяется электродвигатель нормальной серии, предназначенный для длительной работы, его мощность выбирается при помощи методов, применяемых для длительной переменной нагрузки с учетом поправочных коэффициентов, учитывающих ухудшение теплоотдачи в периоды пуска, торможения и паузы.

Например, для графика, приведенного на рис. 23, формула для определения эквивалентной мощности будет иметь вид:

$$P_{экв} = \sqrt{\frac{P_п^2 t_п + P_р^2 t_р + P_т^2 t_т}{\alpha t_п + t_р + \alpha t_т + \beta_0 t_0}},$$

где $P_п$, $P_р$, $P_т$ — мощности на участках цикла соответствен

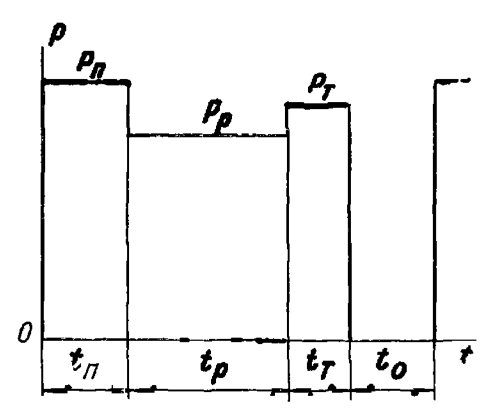


Рис. 23. График повторно-кратковременного режима работы электродвигателя

но при пуске, работе и торможении; $t_п$, $t_р$, $t_т$, $t_о$ —соответственно время пуска, работы, торможения и останова двигателя; $\beta_о$ — коэффициент, учитывающий уменьшение теплоотдачи электродвигателя в неподвижном состоянии (для закрытого электродвигателя без наружного охлаждения или с принудительной вентиляцией $\beta_о = 0{,}9—1$, для закрытого с наружным охлаждением от собственного вентилятора на валу электродвигателя $\beta_о = 0{,}45—0{,}55$, для защищенного с самовентиляцией $\beta_о = 0{,}25—0{,}35$); α — коэффициент, учитывающий ухудшение условий охлаждения двигателя при пуске и торможении ($\alpha = (1 + \beta_о)/2$).

Формулу эквивалентной мощности применяют в тех случаях, когда процессы пуска и торможения сравнительно редки и существенно на нагрев электродвигателя не влияют.

Электроприводы многих металлорежущих станков (токарных, сверлильных, шлифовальных, строгальных), вспомогательных механизмов прокатных станов (ножниц, рольгангов, кантователей) работают в напряжённом повторно-кратковременном режиме, когда по условиям технологического процесса совершается 600—800 и более включений в час.

Существенное значение в таких режимах имеют пусковые и тормозные потери, вызывающие интенсивное нагревание двигателя и ограничивающие, таким образом, допустимую с точки зрения нагрева частоту его включений. Поэтому асинхронные короткозамкнутые электродвигатели малой мощности (до 10 кВт), рассчитанные на длительный режим, а работающие в повторно-кратковременном, должны быть проверены на допустимую частоту включений.

Допустимой частотой включений (числом включений в час) h считают такую частоту, при которой средняя темпера-

тура после большого числа рабочих циклов будет равна максимально допустимой. В этих условиях двигатель будет полностью использован по нагреву, а температура его обмоток не превысит допустимых значений.

Допустимое число включений в час

$$h = 3600\frac{(\Delta p_{н} - \Delta p_{ср})\varepsilon + \Delta p_{н}\beta(1-\varepsilon)}{0{,}97(\Delta A_{р} + \Delta A_{т})},$$

где $\Delta p_{н}$ и $\Delta p_{ср}$ — мощности потерь при номинальной и фактической нагрузке; ε — коэффициент относительной продолжительности включения; $\Delta A_{р}$ и $\Delta A_{т}$ — энергия потерь в электродвигателе за время разбега и торможения; β — коэффициент ухудшения теплоотдачи.

В целях улучшения экономических показателей электропривода для повторно-кратковременного режима выпускается также специальная серия краново-металлургических электродвигателей, которые имеют увеличенные пусковой и максимальный моменты. Кроме обычных данных, еще указывается, на какую продолжительность включения (ПВ %) они рассчитаны:

$$ПВ\ \% = \frac{t_{р}}{t_{р} + t_{0}}100 \text{ или } ПВ\ \% = \frac{t_{р1} + t_{р2} + \ldots + t_{рn}}{\Sigma t_{р} + t_{0}},$$

где $t_{р}$ и t_{0} — длительность соответственно рабочего периода и паузы.

В каталогах для двигателей повторно-кратковременного режима указывается мощность, которую может развивать двигатель при каждом из нормируемых значений ПВ % (15, 25, 40 и 60 %) или соответственно в относительных величинах ε (0,15; 0,25; 0,40 и 0,60). В этом случае выбор электродвигателя начинают с определения ПВ. Затем вычисляется эквивалентная мощность (ток, момент) для расчетной ПВ:

$$P_{эк} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \ldots + P_n^2 t_n}{\Sigma t_{р}}}$$

В эту формулу время паузы t_0 не включается, поскольку оно учитывается величиной продолжительности включения ПВ.

Если расчетная величина продолжительности включения отличается от стандартной, выбирать двигатель необходимо по ближайшему стандартному значению ее, пересчитывая соответственно мощность двигателя по формуле:

$$P_{ст} = P_{экв}\sqrt{ПВ/ПВ_{ст}}\,.$$

Полученная мощность сопоставляется с номинальной при $ПВ_{ст}$. Ввиду близости значений ПВ и $ПВ_{ст}$ изменением условий теплоотдачи и величины постоянных потерь можно пренебречь.

При величинах $\varepsilon > 0{,}6$ обычно выбирают электродвигатели, рассчитанные на длительный режим работы, а при $\varepsilon < 0{,}1$ — двигатели для кратковременной работы.

Мощность электродвигателя для повторно-кратковременного режима с частыми пусками и электрическим торможением (режим S5), когда пусковые и тормозные потери энергии оказывают влияние на нагрев двигателя, рассчитывается методом непосредственного учета потерь в двигателе.

Глава V

АППАРАТЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ И ЗАЩИТНАЯ АППАРАТУРА В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

Аппараты управления асинхронными электродвигателями на напряжение до 1000 В подразделяются на аппараты ручного управления (рубильники и переключатели, пакетные выключатели и переключатели, кнопочные пускатели, силовые ящики, контроллеры); аппараты автоматического управления (контакторы, магнитные и тиристорные пускатели); резисторы (пусковые, тормозные, регулировочные); командоаппараты (кнопки управления, универсальные переключатели, командоконтроллеры, путевые выключатели, электромагнитные муфты).

Аппараты управления состоят из различных элементов, которые на электрических схемах изображаются условными знаками, установленными ГОСТ 2. 755—74. Контакты аппаратов делятся на замыкающие и размыкающие и показываются на схемах в так называемом нормальном положении, т. е. которое они занимают при отсутствии тока в катушке аппарата или механического воздействия на контактную систему.

Контакты большинства электрических аппаратов изготовляются из твердотянутой меди и иногда снабжаются пластинками из серебра.

Электрические аппараты, так же как и электродвигатели, могут работать в длительном, повторно-кратковременном и кратковременном режимах.

Ниже приводятся технические характеристики и область применения наиболее часто встречающихся аппаратов напряжением до 1000 В в электроприводах асинхронных электродвигателей.

АППАРАТЫ РУЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Рубильники и переключатели (табл. 45) являются наиболее простыми по конструкции электрическими аппаратами, при помощи которых осуществляется включение и отключе-

45. Технические данные рубильников и переключателей

Тип рубильника	Тип переключателя	$I_н$, А	Способ соединения
Р21, Р31	П21, П31	100	Переднее и заднее
Р22, Р32	П22, П32	250	
Р24, Р34	П24, П34	400	
РБ21, РБ31	ПБ21, ПБ31	100	Переднее
РБ22, РБ32	ПБ22, ПБ32	250	
РБ24, РБ34	ПБ24, ПБ34	400	
РПБ21, РПБ31	ППБ21, ППБ31	100	»
РПБ22, РПБ32	ППБ22, ППБ32	250	
РПБ24, РПБ34	ППБ24, ППБ34	400	
РПЦ21	ППЦ21	100	»
РПЦ22	ППЦ22	250	
РПЦ24	ППЦ24	400	

Примечания: 1. Рубильники (Р) и переключатели (П) предназначены для отключения электрических цепей без нагрузки. Поставляются без изоляционных панелей, но по желанию заказчика могут поставляться и на панелях. Рубильники и переключатели с центральной и боковой рукоятками по заказу могут поставляться с контактом вспомогательной цепи.

2. Рубильники с боковой рукояткой (РБ), с боковым рычажным приводом (РПБ), с центральным рычажным приводом (РПЦ), а также соответствующие переключатели ПБ, ППБ, ППЦ предназначены для коммутации электрических цепей под нагрузкой в пределах 50—100% номинального тока в зависимости от рода и величины напряжения.. Поставляются с дугогасительными камерами без изоляционных панелей, но по желанию заказчика могут поставляться без камер и на панелях.

ние двигателей или электрических цепей. Рубильники изготовляются одно-, двух- и трехполюсными. При помощи рубильников производится пуск двигателей малой мощности с небольшим числом включений в час. В схемах производственных и общепромышленных механизмов рубильники используются главным образом в качестве вводных для снятия напряжения со схемы при осмотрах и ремонтных работах или остановке станка на длительное время. Включение и отключение электродвигателей в этом случае осуществляется контакторами.

Разновидностями рубильников являются переключатели на два рабочих и одно нейтральное положение.

Рубильники и переключатели применяют для электрических цепей переменного тока частотой 50 Гц, напряжением до 500 В и цепей постоянного тока напряжением до 440 В.

Тип рубильника и переключателя расшифровывается следующим образом: первая цифра после буквы обозначает количество полюсов — 2, 3, вторая — номинальный ток рубильника — 1 (100 А), 2 (250 А), 4 (400 А), 6 (600 А). Например, РПБ32 — рубильник с боковым рычажным приводом, трехполюсный, номинальный ток 250 *А*.

Пакетные выключатели и переключатели (табл. 46) представляют собой более совершенные и компактные устройства по сравнению с рубильниками. Основное достоинство их — малые габариты. Пакетные выключатели и переключатели применяются в качестве вводных, присоединяющих электропривод производственного механизма (станка) к сети, переключателей обмотки статора со звезды на треугольник, переключателей цепей управления и сигнализации, а также в силовых цепях маломощных электродвигателей для непосредственного включения их при небольшом числе пусков (до 15—20 в час).

46. Технические данные пакетных выключателей и переключателей

Тип	Число полюсов	$I_н$, А 220 В	$I_н$, А 380 В	Исполнение	Тип	Число полюсов	$I_н$, А 220 В	$I_н$, А 380 В	Исполнение
ПВМ2-10	2	10	6,3	Открытое	ВПКМ2-10	2	10	6,3	Защищенное
ПВМ3-10	3	10	6,3		ВПКМ3-10	3	10	6,3	
ППМ2-10/Н2	2	10	6,3		ВПКМ3-25	3	25	16	
ППМ2-10/Н3	2	10	6,3						
ПВМ3-25	3	25	16		ГПВМ2-10	2	10	6,3	Герметическое
ПВМ3-60	3	63	40		ГПВМ3-10	3	10	6,3	
ПВМ3-100	3	100	63		ГПВМ3-25	3	25	16	

Примечание. Например, тип ПВМ2-10 означает: пакетный выключатель открытого исполнения, малогабаритный, двухполюсный, номинальный ток 10 А; ВПКМ2-10 — выключатель пакетный защищенного исполнения, малогабаритный, двухполюсный, номинальный ток 10 А; ГПВМ2-10 — герметический пакетный выключатель, малогабаритный, двухполюсный, номинальный ток 10 А; ППМ2-10/Н2 — пакетный переключатель открытого исполнения, двухполюсный, номинальный ток 10 А, на два направления вращения с одним нулевым положением.

Пакетные выключатели и переключатели (ГОСТ 16708—77) выпускают открытого, защищенного и герметического исполнения на напряжение переменного тока до 380 В, частотой до 220 Гц и постоянного тока до 440 В.

Для включения, отключения, реверсирования и переключения числа пар полюсов асинхронных короткозамкнутых электродвигателей используют пакетно-кулачковые переключатели ПКП и выключатели ПКВ на номинальные токи 10, 25, 63, 100, 160 А.

Кнопочные пускатели применяются для пуска электродвигателей малой мощности. Например, пускатель типа ПНВ предназначен для управления трехфазными короткозамкнутыми асинхронными двигателями мощностью до 4,5 кВт при напряжении до 500 В. Кнопочные пускатели имеют мостиковую трехполюсную контактную систему.

Ящики силовые (совмещенные рубильники-предохранители) (табл. 47, 48, 49) применяются для включения и отключения электрических цепей и для защиты от токов корот-

47. Технические данные силовых ящиков типа ЯВЗ, ЯВЗШ, ЯВЗБ

Тип	Число полюсов	$I_н$, А		$U_н$, В
		аппарата	плавких вставок	
ЯВЗ-21	2	100	60, 80, 100	
ЯВЗ-22	2	200	100, 125, 160, 200	500
ЯВЗ-23	2	300	200, 225, 260, 300	
ЯВЗ-31	3	100	60, 80, 100	
ЯВЗ-32	3	200	100, 125, 160, 200	500
ЯВЗ-33	3	300	200, 225, 260, 300	
ЯВЗШ-21	2	100	60, 80, 100	380
ЯВЗШ-31	3			
ЯВЗБ-21	2	100	60, 80, 100	
ЯВЗБ-22	2	200	100, 125, 160, 200	500
ЯВЗБ-31	3	100	60, 80, 100	
ЯВЗБ-32	3	200	100, 125, 160, 200	

Примечания. 1. Расшифровка обозначения типов аппаратов: Я — ящик, В — выключатель, З — закрытый, Ш — со штепсельным разъемом, Б — контактные стойки с барашковыми зажимами; первая цифра после букв обозначает количество полюсов (2 или 3), вторая — номинальный ток в сотнях ампер.

2. Предназначены для коммутации электрических цепей, защиты от перегрузки и токов короткого замыкания.

48. Технические данные силовых ящиков типа ЯБП, ЯБПВУ, ЯРП и ЯПП, 380 В

Тип			$I_н$, А	Масса ящика, кг
ящика	блока	предохранителя		
ЯБП-1	—	ПН-2	100	6,5
ЯБПВУ-2	БПВУ-2	ПН-2	200	23,8
ЯБПВУ-4	БПВУ-4	ПН-2	400	26,7
ЯРП-20	—	Ц27	20	2,2
ЯПП-15	—	Ц27	15	1.7

Примечание. Яшики типа ЯБП и ЯБПВУ предназначены для защиты линий и нечастой коммутации электрических цепей трехфазного тока, типа ЯРП и ЯПП — для включения, отключения ч защиты трехфазных электрических цепей, в том числе трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.

49. Технические данные силовых ящиков, предназначенных для коммутации электрических цепей

Тип	Число полюсов	$I_н$, А	$U_н$, В	Тип	Число полюсов	$I_н$, А	$U_н$, В
ЯВЗ-21-1	2	100	220	ЯВЗШ-21-1	2	100	220
ЯВЗ-22-1	2	250		ЯВЗШ-31-1	3	100	380
ЯВЗ-24-1	2	400		ЯВЗБ-21-1	2	100	220
ЯВЗ-31-1	3	100	500	ЯВЗБ-22-1	2	250	
ЯВЗ-32-1	3	250		ЯВЗБ-31-1	3	100	500
ЯВЗ-34-1	3	400		ЯВЗБ-32-1	3	250	

Примечание. Ящики не имеют предохранителей.

кого замыкания. Они имеют блок рубильник-предохранитель и боковой привод. Ящики, служащие только для включения и отключения электрических цепей, не имеют предохранителей. Ящики силовые, в обозначение которых входят буквы Б и Ш (ЯВЗБ, ЯВЗШ), имеют соответственно барашковые зажимы или штепсельный разъем и служат для подключения передвижных электроприемников.

Ящики типов ЯБП и ЯБПВУ предназначены для защиты линий и нечастой коммутации электрических цепей трехфазного тока напряжением до 380 В, типов ЯРП и ЯПП — кроме того, еще и для включения, отключения и защиты трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.

Ввод проводов в ящик и вывод их можно осуществлять через верхнюю и нижнюю уплотненные крышки корпуса.

Ящики имеют блокировку, исключающую возможность открывания дверцы при включенном блоке и включения блока при открытой дверце. Для заземления и присоединения нулевых проводов на правой боковой стенке корпуса имеется болт.

Контроллеры — это многопозиционные и многоцепные аппараты ручного управления, предназначенные для изменения схемы соединений силовых цепей электродвигателей напряжением до 500 В либо для изменения величины включенных в эти цепи сопротивлений. Наиболее широко контроллеры используются в промышленности для управления электродвигателями кранов.

По конструкции переключающего устройства контроллеры делятся на барабанные, кулачковые и плоские. Для управления асинхронными электродвигателями с фазным ротором преимущественное применение получили кулачковые контроллеры переменного тока типа ККТ-61, которые широко используются в схемах управления электроприводами подъемных кранов. Поворот рукоятки контроллера в соответствующее положение приводит к поочередному замыканию контактов, шунтирующих секции роторных резисторов, обеспечивая тем самым плавный пуск двигателя. Контроллер обеспечивает также торможение, реверсирование и регулирование частоты вращения двигателя.

Для автоматического пуска, реверсирования и торможения двигателя с фазным ротором применяются магнитные контроллеры типа ТСА.

АППАРАТЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Контакторы переменного тока (табл. 50) представляют собой автоматически действующие электромагнитные аппараты, предназначенные для дистанционного управления электродвигателями. В этих аппаратах контакты замыкаются не под действием физических усилий человека, а при помощи электромагнита.

Контакторы различают: по числу главных контактов — одно-, двух- и многополюсные; по конструкции электромагнита — с якорем клапанного типа и прямоходовым якорем; по способу гашения дуги — с магнитным гашением и дугогасительной решеткой.

50. Технические данные контакторов, применяемых в цепях переменного и постоянного тока

Тип	$U_н$, В	$I_н$, А	Обмотка		Допустимая частота включений, 1/ч	Дополнительные сведения
			U, В	P, Вт		
МКI	—220, ~380	40	24, 48, 110, 220 постоянного тока	38	—	Имеют общепромышленное, тропическое исполнение
КМЗ-0	—220, ~380	4,5	127, 220 переменного тока	—	—	Используются в качестве промежуточных реле в схемах управления
КМ2000	—220, ~380	До 350 и 600	110, 220 постоянного тока, 127, 220, 380 переменного	50	600	Имеют общепромышленное, тропическое исполнение
РПКI	—400, ~500	10	24—220 постоянного тока, 36—500 переменного	—	1200	Используются в качестве промежуточных реле; имеют пневматическую приставку, обеспечивающую выдержку до 60 с
КН100-КН400	~380	25—200	~220	19—50	—	Вибро- и ударостойкие

Примечание. Контакторы типа КМЗ-0 еще находятся в эксплуатации, но в настоящее время сняты с производства.

При включении контактора переменного тока его катушка с небольшим активным сопротивлением потребляет пусковой ток, в 8—15 раз превышающий рабочий ток при втянутом якоре. В рабочем же состоянии (контактор включен) воздушный зазор мал, поэтому индуктивное сопротивление становится намного больше активного, следовательно, полное сопротивление катушки контактора возрастает и рабочий ток снижается.

Для уменьшения гудения и вибрации контактора применяется медный короткозамкнутый виток, закладываемый в торцовую поверхность якоря.

В электроприводах с большим числом включений в час применяются контакторы клапанного типа с питанием катушки постоянным током. Это повышает электрическую и механическую износоустойчивость контактора.

Контакторы с бездуговой коммутацией предназначаются для тяжелых режимов работы при частых отключениях токов, близких к пусковым.

Прямоходовые контакторы имеют магнитную систему броневого типа с якорем, втягивающимся при включении внутрь катушки. Связанные с якорем подвижные контакты перемещаются снизу вверх.

Контакторы переменного тока используются в цепях напряжением до 660 В на номинальные токи главных контактов от 20 до 600 А с числом полюсов от 1 до 5. Они нормально работают при напряжении 0,85—1,1 $U_н$ и имеют напряжение отпускания 0,6—0,7 $U_н$. Время включения контакторов колеблется в пределах 0,05—0,07 с, время отключения 0,02—0,05 с. Допустимая частота включений большинства контакторов — до 600 в час. Блок-контакты допускают протекание длительного тока до 20 А.

Для широкого применения рекомендуются типы контакторов, приведенные в табл. 51.

Магнитные пускатели — аппараты дистанционного управления трехфазными асинхронными электродвигателями. Они совмещают в себе функции пуска, остановки и защиты от перегрузки и понижения напряжения (нулевая защита). Нереверсивный магнитный пускатель состоит из одного трехполюсного контактора и тепловых реле (защита от перегрузки), реверсивный — из двух контакторов (вперед-назад) и тепловых реле, смонтированных на общем основании или

51. Технические данные контакторов переменного тока

Тип	$U_н$, В	$I_н$, А	Число полюсов	Допустимая частота включений, 1/ч
КТ6000	380, 660	100, 160, 250, 400, 650, 1000	2, 3, 4, 5	1200
КТ7000	380, 660	100, 160	2, 3, 4, 5	600
КВДК630	660	630	3	3800
КБК	380	100	3	2000
КТД121	До 500	40	3	1200
КТПВ600	До 380	63, 100, 160, 250	2	1200

в общем кожухе. Реверсивные магнитные пускатели имеют механическую блокировку между контакторами, чем исключается их одновременное включение. При необходимости магнитный пускатель снабжается блоком задержки отключения, который удерживает контакты пускателя во включенном состоянии в течение 4—5 с.

Магнитные пускатели серий ПМЕ и ПАЕ (табл. 52, 53) изготовляются на напряжение до 500 В в кожухе со степенью защиты IP00, IP30, IP52, IP64 и серии ПМ700 взрывозащищенные с масляным заполнением. В сетях напряжением 380 В пускатели ПМЕ предназначаются для управления электродвигателями мощностью от 1,1 до 10 кВт, а пускатели ПАЕ — электродвигателями мощностью 17—75 кВт. В пускателях ПМЕ используются электротепловые реле ТРН, в пускателях ПАЕ — тепловые реле ТРП (табл. 54). Пускатели ПМ700 в сетях напряжением 380 В предназначаются для управления электродвигателями мощностью до 100 кВт.

Тип пускателя расшифровывается следующим образом: буквы обозначают серию, первая цифра (от 0 до VI) — величину пускателя (серии ПМЕ выпускаются 0, I, II величин, серии ПАЕ — III, IV, V, VI величин), вторая цифра — исполнение по роду защиты от воздействия окружающей среды (1 — открытое, 2 — защищенное, 3 — пыле- и влагонепроницаемое), третья цифра — электрическое исполнение (1 — нереверсивный без тепловых реле, 2 — то же с тепловыми реле, 3 — реверсивный без тепловых реле, 4 — то же с тепловыми реле). Например, тип ПАЕ-522 означает: пускатель пятой величины, защищенного исполнения, нереверсивный с тепловыми реле.

Для среды с влажностью воздуха до 100 % применяют пускатели серий ПМЕ и ПАЕ тропического исполнения. В этом случае в обозначение добавляется буква Т, например ПМЕ-511Т, ПАЕ-421Т.

В электроприводах металлорежущих станков применяются магнитные пускатели серии ПМА (табл. 55, 56), предназначенные главным образом для дистанционного управления асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями напряжением до 660 В переменного тока частотой 50 и 60 Гц. Они рассчитаны для работы в условиях умеренного (У), холодного (ХЛ) и тропического (Т) климата.

Тиристорные пускатели предназначены для дистанционного или местного управления и защиты от перегрузки и

52. Технические данные магнитных пускателей серий ПМЕ и ПАЕ (по МРТУ 16529.008—65 и МРТУ 16536.087—69)

Тип в исполнении			Величина	Тепловое реле	$I_н$, А, при напряжении 380 В в исполнении		Предельная мощность электродвигателя, кВт, при напряжении В			
открытом	защищенном	пылеводозащищенном			открытом	защищенном	127	220	380	500
Нереверсивные										
ПМЕ-111 ПМЕ-112	ПМЕ-121 ПМЕ-122	ПМЕ-131 ПМЕ-132	I	Нет ТРН-10	10	10	1,1	2,2	4	4
ПМЕ-211 ПМЕ-212	ПМЕ-221 ПМЕ-222	ПМЕ-231 ПМЕ-232	II	Нет ТРН-25	25	23	3,0	5,5	10	10
ПАЕ-311 ПАЕ-312	ПАЕ-321 ПАЕ-322	ПАЕ-331 ПАЕ-332	III	Нет ТРН-40	40	40	5,5	10,0	17	17
ПАЕ-411 ПАЕ-412	ПАЕ-421 ПАЕ-422	ПАЕ-431 ПАЕ-432	IV	Нет ТРП-60	56	56	7,5	14,0	28	28
ПАЕ-511 ПАЕ-512	ПАЕ-521 ПАЕ-522	ПАЕ-531 ПАЕ-532	V	Нет ТРП-150	115	115	14,0	30,0	55	55
ПАЕ-611 ПАЕ-612	ПАЕ-621 ПАЕ-622	ПАЕ-631 ПАЕ-632	VI	Нет ТРП-150	150	140	20,0	40,0	75	75
Реверсивные										
ПМЕ-113 ПМЕ-114	ПМЕ-123 ПМЕ-124	ПМЕ-133 ПМЕ-134	I	Нет ТРН-10	10	10	1,1	2,2	4	4

ПМЕ-213 ПМЕ-214	ПМЕ-223 ПМЕ-224	ПМЕ-233 ПМЕ-234	II	Нет ТРН-25	25	23	3,0	5,5	10	10
ПАЕ-313 ПАЕ-314	ПАЕ-323 ПАЕ-324	ПАЕ-333 ПАЕ-334	III	Нет ТРН-40	40	40	5,5	10,0	17	17
ПАЕ-413 ПАЕ-414	ПАЕ-423 ПАЕ-424	ПАЕ-433 ПАЕ-434	IV	Нет ТРП-60	56	56	7,5	14,0	28	28
ПАЕ-513 ПАЕ-514	ПАЕ-523 ПАЕ-524	ПАЕ-533 ПАЕ-534	V	Нет ТРП-150	115	115	14,0	30,0	55	55
ПАЕ-613 ПАЕ-614	ПАЕ-623 ПАЕ-624	ПАЕ-633 ПАЕ-634	VI	Нет ТРП-150	150	140	20,0	40,0	75	75

53. Обмоточные данные катушек магнитных пускателей и потребляемые ими токи

Тип	Диаметр провода, мм, при напряжении, В		Число витков при напряжении, В		Ток, А, потребляемый катушками при напряжении, В	
	220	380	220	380	220	380
ПМЕ-000	0,12	0,09	5300	9000	0,055	0,032
ПМЕ-100	0,15	0,11	4150	7170	0,104	0,060
ПМЕ-200	0,27	0,20	2600	4500	0,136	0,071
ПАЕ-300	0,25	0,19	2280	3800	0,146	0,087
ПАЕ-400	0,35	0,27	1600	2760	0,280	0,160
ПАЕ-500	0,49	0,35	1200	2070	0,355	0,215
ПАЕ-600	0,62	0,47	890	1540	0,515	0,290

54. Технические данные электротепловых реле серий ТРН и ТРП

Тип пускателя	Тепловое реле		$I_н$ тепловых элементов (уставки), А
	тип	$I_н$, А	
ПМЕ-000	ТРН-10	3,2	0,32; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2
ПМЕ-100	ТРН-10	10	0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,2; 4,5; 6,3; 8; 10
ПМЕ-200	ТРН-25	25	4,5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25
ПАЕ-300	ТРН-40	40	12,5; 16; 20; 25; 30; 40
ПАЕ-400	ТРП-60	60	20; 25; 30; 40; 50; 60
ПАЕ-500	ТРП-150	150	50; 60; 80; 100; 120
ПАЕ-600	ТРП-150	150	100; 120; 150

токов короткого замыкания асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Они устойчиво работают при температуре окружающей среды от —40 до + 40 °С и относительной влажности не более 90 ± 3 %. Окружающая среда не должна содержать токопроводящей пыли, а также агрессивных газов и паров в концентрациях, разрушающих металл и изоляцию.

По сравнению с магнитными тиристорные пускатели отличаются большой коммутационной способностью и большим сроком службы, высоким быстродействием системы,

55. Технические данные магнитных пускателей серии ПМА

Величина пускателя	$I_н'$, А	Наибольшая мощность управляемого электродвигателя, кВт, при напряжении, В				Номинальный рабочий ток контактов главной цепи пускателя в продолжительном и прерывисто-продолжительном режимах работы, А, при напряжении, В		
		220	380	500	660	до 380	500	660
III	40	10	17	22	22	40	40	25
IV	63	17	30	40	40	63	63	40

Примечание. При работе пускателя в повторно-кратковременном режиме с заданной нагрузкой, частотой и ПВ% значение теплового эквивалентного тока этого режима не должно превышать номинального рабочего тока.

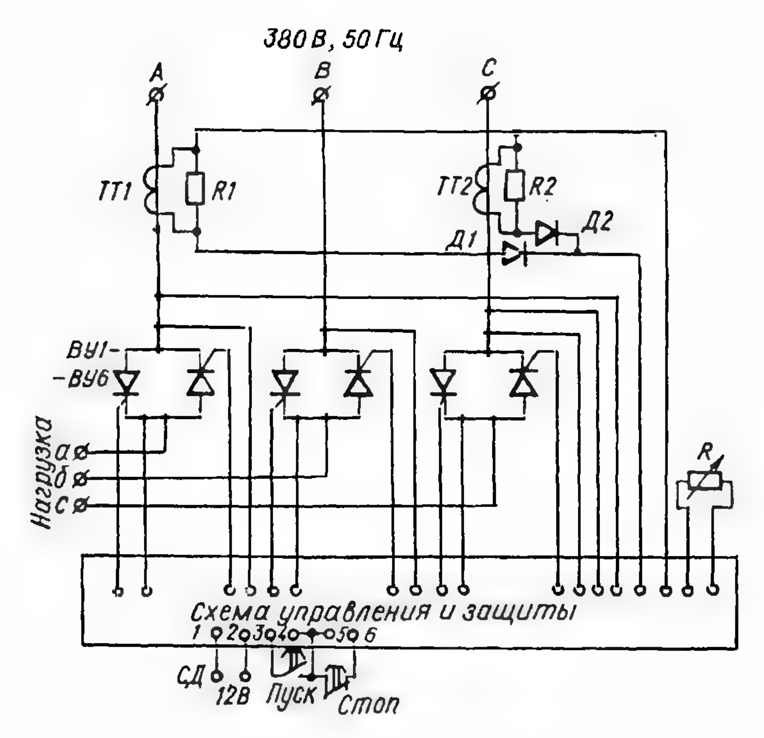


Рис. 24. Принципиальная электрическая схема тиристорного пускателя ПТ40-380

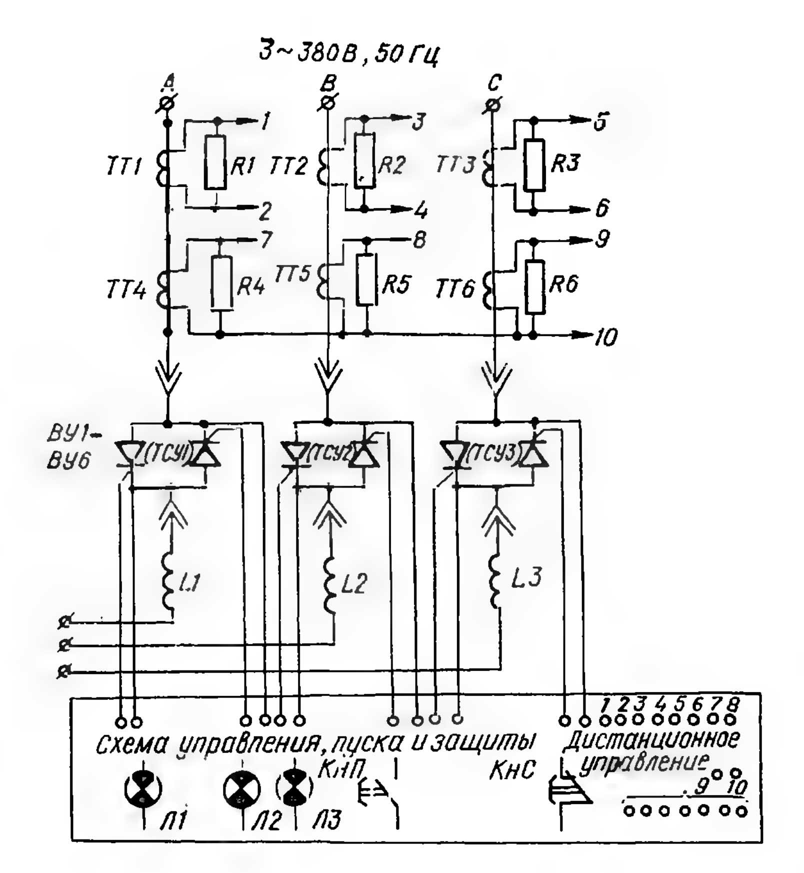


Рис. 25. Принципиальная электрическая схема пускового тиристорного устройства ПТУ63-380

плавным пуском электродвигателя, устойчивостью к механическим воздействиям и отсутствием механических коммутирующих контактов, что исключает образование электрической дуги при коммутации.

Для управления асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором на промышленных предприятиях применяют тиристорные пускатели типа ПТ40-380, ПТ40-380Д (рис. 24), реверсивные и пусковые тиристорные устройства ПТУ63-380 (рис. 25), технические данные которых приведены в табл. 57.

56. Обозначение типов магнитных пускателей серии ПМА

Род тока цепи управления	Нереверсивный		Реверсивный с электрической блокировкой		Реверсивный с электрической и механической блокировкой	
	без реле	с реле	без реле	с реле	без реле	с реле
			40 А, 380 В			
Переменный	3100У4 3104У4 3108У4	3200У4 3204У4 3208У4	3300У4 3304У4 3308У4	3400У4 3404У4 3408У4	3500У4 3504У4 3508У4	3600У4 3604У4 3608У4
Постоянный	3101У4 3105У4	3201У4 3205У4	3301У4 3305У4	3401У4 3405У4	3501У4 3505У4	3601У4 3605У4
			40 А, 660 В			
Переменный	3102У4 3106У4 3109У4	3202У4 3206У4 3209У4	3302У4 3306У4 3309У4	3402У4 3406У4 3409У4	3502У4 3506У4 3509У4	3602У4 3606У4 3609У4
Постоянный	3103У4 3107У4	3203У4 3207У4	3303У4 3307У4	3403У4 3407У4	3503У4 3507У4	3603У4 3607У4
			63 А, 380 В			
Переменный	4100У4 4104У4 4108У4	4200У4 4204У4 4208У4	4300У4 4304У4 4308У4	4400У4 4404У4 4408У4	4500У4 4504У4 4508У4	4600У4 4604У4 4608У4
Постоянный	4101У4 4105У4	4201У4 4205У4	4301У4 4305У4	4401У4 4405У4	4501У4 4505У4	4601У4 4605У4
			60 А, 660 В			
Переменный	4102У4 4106У4 4109У4	4202У4 4206У4 4209У4	4302У4 4306У4 4309У4	4402У4 4406У4 4409У4	4502У4 4506У4 4509У4	4602У4 4606У4 4609У4
Постоянный	4103У4 4107У4	4203У4 4207У4	4303У4 4307У4	4403У4 4407У4	4503У4 4507У4	4603У4 4607У4

Примечание. Пускатели серии ПМА поставляются без кнопок.

РЕЗИСТОРЫ И РЕОСТАТЫ

В схемах электроприводов резисторы применяются в качестве пусковых, регулировочных, тормозных, разрядных и добавочных сопротивлений. Они могут являться частью аппарата, например реостата, или же представлять самостоятельный аппарат, соединяемый с переключающим устройством типа контроллера или контактора.

57. Технические данные тиристорных пускателей типа ПТ открытого исполнения и тиристорного пускового устройства ПТУ

Показатели	ПТ40-380	ПТ40-380Д	ПТУ63-380
Напряжение сети, В	380	380	380
Частота, Гц	50	50	50
Номинальный ток, А	46	46	63
Ток утечки при закрытых тиристорах (не более), мА	20	20	24
Пусковой ток, коммутируемый пускателями в течение 0,4 с (не более), А	200	200	—
Допустимые перегрузки при 1,2 $I_н$, мин	—	—	5
Время отключения при допустимых перегрузках, мин:			
1,25 $I_н$	60	60	—
1,5 $I_н$	30	30	—
2 $I_н$	20	20	—
Предельная коммутационная способность, А	—	—	1700
Напряжение в цепях управления, В	24	24	—
Ток в цепях управления (не более), А	0,3	0,3	0,3
Срок службы, тыс. ч	10	10	—
Масса, кг	16	24	50

Резисторы характеризуются двумя основными параметрами: величиной сопротивления и рассеиваемой мощностью. В качестве токопроводящих (резистивных) элементов для резисторов применяют специальные сплавы, отличающиеся высоким удельным сопротивлением (фехраль, константан, никелин, нихром и другие жаростойкие сплавы, не содержащие цинк), а также листовую сталь и другие материалы (для штампованных резистивных элементов).

По исполнению резистивного элемента различают резисторы проволочные, ленточные, штампованные и литые, а по компоновке — одиночные и блоки резисторов.

Резисторы собирают на общем каркасе в виде ящика (ЯС) с разбивкой по ступеням элементов сопротивлений (ЭС). Наибольшее распространение получили открытые ящики с чугунными элементами, например: ЯС1 — пятиступенчатые (пределы изменения сопротивления 2,2 — 8 Ом, допустимые токи 46—24 А); ЯС2 — четырехступенчатые (пределы изменения сопротивления 0,1—1,6 Ом, допустимые токи 215—54 А); ЯСТ1 — трехступенчатые трехфазные (сопротивления 3 (0,9—2,4) Ом, допустимые токи 39—24 А); ЯСТ2 —

трехступенчатые трехфазные (сопротивления 3 (0,03—0,66) Ом, допустимые токи 215—46 А).

Ящики резисторов защищенные ЯС10, ЯС20, ЯС30 с чугунными элементами рассчитаны на мощность от 3,2 до 20,7 кВт, с константановыми элементами — от 2,45 до 16,8 кВт. Ящики типа ЯС эксплуатируются в цепях напряжением до 660 В. На промышленных предприятиях применяются крановые резисторы КФ-22 на токи 220—30 А и ящики резисторов защищенные с элементами из фехраля НФ-1 (пределы изменения сопротивления 0,1—0,1925 Ом, допустимые токи 214—156 А).

Реостаты панельные открытые модернизированные РПОМ-200, РПОМ-400 и ползунковые РПС-1 — РПС-4 находят применение в схемах пуска и регулирования частоты вращения асинхронных электродвигателей с фазным ротором.

КОМАНДОАППАРАТЫ

Кнопки управления (кнопочные станции) служат для дистанционного управления электроприводами производственных механизмов, имеющих контакторы или магнитные пускатели (табл. 58). Они представляют собой один или несколько кнопочных элементов, заключенных в общий корпус. Обычно кнопочные элементы имеют по одному размыкающему и замыкающему контакту с пружинным самовозвратом. Имеются также кнопки управления без самовозврата, т. е. с фиксацией положения. Кнопочная станция общего применения типа КУ-122 комплектуется из одно-, двух- или трехкнопочных элементов, имеющих закрытое утопленное исполнение для установки на панелях, встройки в нишу станины станка или в корпус другого его узла. Кнопочная станция КУ-90-ВЗГ имеет взрывозащищенное исполнение.

Кнопочные станции выполняются для монтажа на пульте, на стене, на полу (ножные) и подвесными.

Универсальные переключатели применяют в цепях управления электромагнитными аппаратами (контакторами, автоматами), магнитными станциями для переключения полюсов многоскоростных асинхронных двигателей мощностью до 4 кВт, для изменения режима работы электропривода. Переключатели различаются по числу секций, диаграмме замыканий контактов и углу поворота рукоятки. Число фиксированных положений рукоятки в зависимости

58. Технические данные кнопок управления и командоконтроллеров

Наименование	Тип	$U_н$, В	$I_н$, А
Командоконтроллеры регулируемые кулачковые с электроприводом	КА4000	500	До 15
Командоконтроллеры нерегулируемые кулачковые	КА5000	500	15
Плоские командоконтроллеры быстроходные с моторным приводом	КПБ-10	220	25
Микропереключатели	МП2000	380	2,5
Кнопки управления ладонные	ЛКУ	500	15
Кнопочные посты управления	КС	380	6
	ПКЕ	500	6,3
Кнопки управления открытого исполнения	КЕ	500	6,3
Переключатели открытого исполнения	ПЕ	500	6,3

от типа переключателя — до 12, число цепей — до 16. Некоторые типы переключателей изготовляются с самовозвратом рукоятки в нулевое положение.

Переключатели рассчитаны для работы при температуре от —40 до +35 °С и относительной влажности воздуха не более 80 %. Их нельзя устанавливать в сырых помещениях, в местах, не защищенных от атмосферных осадков, в средах, насыщенных токопроводимой, взрывоопасной пылью. В схемах управления применяются преимущественно переключатели серий УП5300 и ПКУ-3.

Командоконтроллеры, или переключатели управления (табл. 58), используются для управления двигателями, работающими в напряженном повторно-кратковременном режиме. Наибольшее распространение в промышленности получили кулачковые командоконтроллеры (КА), которые выпускаются на разное число коммутируемых цепей и положений с ручным или ножным (педальным) приводом, а также с электроприводом.

Путевые (конечные) выключатели применяют в схемах управления электроприводами кранов и задвижек. Они приводятся в действие подвижными частями производственного механизма в зависимости от их положения, т. е. от пройденного пути. Контакты путевого выключателя в определенных точках пути переключаются и подают соответствующие команды управления. Путевые выключатели, снабженные сильной пружиной, возвращающей переключатель в исходное положение после прекращения воздействия движу-

59. Технические данные контактных путевых выключателей

Тип	$U_н$, В	$I_н$, А	Износостойкость (число включений)		Рабочий угол поворота (ход)
			механическая	электрическая	
ВК-200	380	6,3	$5 \cdot 10^6$	10^6	12°
ВПК-1000	380	4	$1,6 \cdot 10^6$	10^6	15° (1,7 мм)
ВПК-2000	380	6—4	10^7	$2,5 \cdot 10^6$	5,5—8 мм
ВПК-3000	380	6	$6,3 \cdot 10^6$	—	12° (6,15 мм)
ВПК-4000	500	6—4	10^6	$2,5 \cdot 10^6$	5—9 мм

щегося упора, называются переключателями с самовозвратом. Контактные путевые выключатели (табл. 59) бывают вращающимися, рычажными и нажимными. Применяются также бесконтактные путевые выключатели серии БВК, предназначенные для контроля положения механизма.

Если длина хода переключающего упора мала и при этом требуется повышенная точность переключения, применяется микропереключатель типа МП с ходом штока 0,3—0,7 мм.

Электромагнитные муфты предназначены для замыкания и размыкания кинематических цепей без прерывания вращения. Они широко применяются в металлорежущих станках, где с их помощью производятся различные переключения в кинематических цепях (коробках скоростей) станка и в других механизмах и устройствах.

60. Технические данные электромагнитных муфт

Серия	Передаваемый момент, Н.м	Частота вращения, об/мин	Ток управления, А
Фрикционные многодисковые			
ЭМ-12	16	3000	1,1
ЭМ-42	160	2000	3,5
ЭМ-62	1000	1000	16,2
ЭТМ-012	2,5	6000	0,15
ЭТМ-103	1000	4000	1,68
ЭТМ-15	1600	2500	6,0
Порошковые бесконтактные			
МПБ-63-2	6,3	2000	0,45
МПБ-10-2	0,4	2000	0,18
МПБ-0,63-2	0,063	2000	0,16

Быстродействующие многодисковые фрикционные электромагнитные муфты (табл. 60) используют в следящих системах электрокопировальных станков. Частота срабатывания муфт доходит до 50 включений в секунду и более. Электромагнитные муфты изготовляют для передачи моментов 2,5 — 1600 Н. м. (0,25—160 кГ. м).

При работе электромагнитной муфты с асинхронным двигателем передаваемый муфтой момент должен быть несколько больше максимального момента электродвигателя, иначе при перегрузке двигателя муфта будет проскальзывать при полном моменте, перегреется и выйдет из строя. Электромагнитные фрикционные муфты могут работать с горизонтальной и вертикальной осью.

Кроме многодисковых в станкостроении применяют однодисковые фрикционные электромагнитные муфты и электромагнитные порошковые муфты (табл. 60). У этих муфт зазор между сцепляющимися поверхностями заполняется текучими или сыпучими смесями. Удельная сила сцепления у порошковых муфт достигает 10 Н/см^2. Преимуществом этих муфт является высокая скорость срабатывания, недостатком — старение магнитной смеси.

ЗАЩИТНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ УСТАНОВОК НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

Для защиты электродвигателей и другого электрооборудования автоматизированных электроприводов при коротких замыканиях, чрезмерных или длительных перегрузках применяются плавкие предохранители, электромагнитные реле тока, автоматические воздушные выключатели, электротепловые реле.

Плавкие предохранители (табл. 61 и 62) являются наиболее простыми защитными аппаратами. Они применяются для защиты главных цепей электродвигателей небольшой мощности, а также цепей управления при коротких замыканиях. Существует несколько типов плавких предохранителей (пробочные, трубчатые и др.). Трубчатые предохранители кроме типа ПР2 заполнены кварцевым песком и могут устанавливаться в вертикальном и горизонтальном положениях. Они имеют разборные плавкие вставки кроме типа НПН. Предохранители ПР2 устанавливаются только в вертикальном положении.

61. Технические данные плавких предохранителей типов НПН, ПН, ПП

Тип	$U_н$, В	$I_н$, А		Предельный ток отключения, кА, при напряжении переменного тока, В	
		предохранителя	плавкой вставки	380	500
НПН2-60	~380	63	6, 10, 16, 20, 25, 32, 40, 63	10	
ПН2-100	~380*, —220	100	30, 40, 50, 60, 80, 100	100	50
ПН2-250		250	80, 100, 120, 150, 200, 250	100	50
ПН2-400		400	200, 250, 300, 400	40	25
ПН2-600		600	300, 400, 500, 600	25	25
ПП17-39	~380*, —220	1000	500, 630, 800, 1000	110	64
ПП18-33	~660, —440	160	50, 63, 80, 100, 125, 160		
ПП18-34		250	125, 160, 200, 250		
ПП18-37		400	250, 320, 400		
ПП18-39		630	400, 500, 630		
ПП18-41		1000	630, 800, 1000		

* Допускается применение в сетях напряжением 500 В.

Предохранители ПН2, ПП17, ПП18 могут поставляться с указателем срабатывания, с указателем и замыкающим контактом, с указателем и размыкающим контактом, а также без указателя срабатывания и контакта вспомогательной цепи.

Электромагнитные реле тока мгновенного действия ЭТ-520 используются для защиты электродвигателей, работающих в повторно-кратковременном режиме, от чрезмерных перегрузок и коротких замыканий в главной цепи, а также для управления пуском и торможением двигателей. Эти реле при срабатывании разрывают цепь катушки линейного контактора и этим отключают двигатель от сети. Все электромагнитные реле отключают электродвигатель при определенном токе независимо от его теплового состояния.

62. Технические данные предохранителей типа ПР2

$I_н$, А		$U_н$, В		Предельная отключающая способность, кА, при переменном токе, $\cos\varphi = 0,4$ (действующее значение)
основания предохранителя	плавкой вставки	предохранителя	электрической цепи	
15	6	220	220 380	1,2 0,8
	10 15	500	380 500	8 7
60	15 20 25	220	220 380	1,8
	35 45 60	500	380 500	4,5 3,5
100	60 80	220	220 380	11 6
	100	500	380 500	11 10
200	100 125 160	220	220 380	11 6
	200	500	380 500	11 10

Примечания: 1. Предельная отключающая способность при постоянном токе 3 $I_н$ тока плавкой вставки.

2. Расшифровка условного обозначения предохранителей ПР2: П — предохранитель, Р — разборный, 2 — условный номер разработки.

В тех случаях, когда электрическая схема должна обеспечить защиту лишь от однофазного включения асинхронного двигателя, может быть применено специальное электромагнитное реле обрыва фазы (РОФ).

Автоматические воздушные выключатели (автоматы) осуществляют защиту электродвигателей при коротких замыканиях и перегрузках (табл. 63). В установках трехфазного переменного тока напряжением до 660 В применяются трехполюсные автоматы, а для защиты цепей управле-

63. Технические данные автоматических воздушных выключателей, находящихся в эксплуатации

Тип	$I_н$, А	$U_н$, В	Число полюсов	Возможность заказа с расцепителем		Ток уставки расцепителя, А	Время отключения, с	Привод
				тепловым	электромагнитным			
А3100	50	~220, —110	1, 2, 3	Есть	Нет	15—50	0,015—0,03	Ручной
А3110	100	~380, —220	2, 3	Нет	Есть	15—100	0,01—0,015	»
А3120	200	~380, —220	2, 3	»	»	15—100	—	»
А3130	200	~380, —220	2, 3	»	»	120—200	0,01—0,02	»
А3140	600	~380, —220	2, 3	»	»	250—600	0,025—0,035	»
АК-63	63	~380, —220	2, 3	»	»	0,63—63	0,02—0,04	»
АК-50	50	~380, —440	2, 3	—	»	2—50	0,04	»
АП-50	50	~500, —220	2, 3	Есть	»	1,6—50	0,02	»
А-63	25	~220, —110	1	»	»	0,63—25	—	»
АЕ1000	25	~220	1	»	»	6—25	—	»
АЕ2000	25, 63, 100	~500, —220	1, 2, 3	—	»	—	—	»
«Электрон»	630 1000	—440 ~600	2, 3	—	»	—	—	Ручной, электромагнитный, электродвигательный

ния этих установок могут использоваться двухполюсные автоматы.

Все автоматы имеют механизм свободного расцепления, который обеспечивает автоматическое их отключение при аварийном режиме защищаемой цепи. Двух- и трехполюсные автоматы снабжаются тепловыми и электромагнитными расцепителями в каждом полюсе и отключают одновременно все цепи при срабатывании любого из расцепителей.

Выключатели серии А3100 применяются на номинальные токи до 600 А в одно-, двух- и трехполюсном исполнении с нерегулируемыми расцепителями: тепловым, с обратно зависимой от тока нагрузки выдержкой времени (на токи до 50 А); электромагнитным, осуществляющим мгновенное отключение при токах, бо́льших тока уставки; комбинированным, имеющим и тепловой, и электромагнитный элементы.

Автоматические выключатели А3100 пока еще находятся в эксплуатации, но в настоящее время постепенно заменяются представителями новых серий: А3700 (табл. 64) и АЕ-2000.

Выключатели серии А3700 выпускаются с полупроводниковым и электромагнитным расцепителями максимального тока (А3710Б—А3740Б) соответственно на токи от 40 до 630 А; с электромагнитным расцепителем максимального тока (А3711Б—А3742Б) соответственно на токи 160—630 А; с полупроводниковым расцепителем максимального тока (А3733С—А3744С) соответственно на токи 250—630 А.

Начато также производство выключателей серии А3700Ф в фенопластовых корпусах с термобиметаллическими и электромагнитными расцепителями. Они имеют те же электрические данные, что и А3700, и могут заменять выключатели серии А3100.

Автоматические выключатели серии «Электрон» предназначены для электроустановок переменного тока напряжением до 660 В и постоянного тока — до 440 В.

Выключатели серии АЕ-2000 выпускаются в одно-, двух- и трехполюсном исполнении с комбинированными и электромагнитными расцепителями следующих типов: АЕ-2010 — номинальный ток комбинированного расцепителя 0,6—10 А, динамическая устойчивость до 5 кА, как и для типа АЕ-2030; АЕ-2030 — номинальный ток комбини-

64. Технические данные автоматических воздушных выключателей серии А3700

Тип	Вид расцепителей максимального тока	$I_н$, А		Ток уставки расцепителя, А	Предельный ток отключения выключателя при $U=380$ В, кА
		выключателя	расцепителя		
А3710Б	Электромагнитные; полупроводниковые и электромагнитные	40	20, 25, 32, 40	400, 630, 1000, 1600	18
		80	40, 50, 63, 80		36
		160	80, 100, 125, 160		75
А3720Б		250	160, 200, 250	1600, 2000, 2500	75
А3730Б		400	160, 200, 250, 320, 400	2500, 3200, 4000	100
А3740Б		630	250, 320, 400, 500, 630	4000, 5000, 6300	150
А3710ФУЗ	Электромагнитные	160	160	400, 630, 1000, 1600	25
А3720ФУЗ		250	250	1600, 2000, 4000	35
А3730ФУЗ		630	400	2500, 3200, 4000	50
			630	4000, 5000, 6300	

Примечание. Расшифровка условного обозначения воздушного выключателя А3710ФУЗ· А — автоматический; 3710 — условный номер разработки; Ф — фенопластовый корпус; У — климатическое исполнение (умеренный климат); З — категория размещения (в закрытых помещениях с естественной вентиляцией).

рованного расцепителя 10—25 А; АЕ-2040 — номинальный ток комбинированного расцепителя 10—63 А, динамическая устойчивость 10 кА; АЕ-2050 — номинальный ток комбини-

рованного расцепителя 16—100 А, динамическая устойчивость 20 кА.

Назначение и область применения выключателей этой серии, а также характеристики расцепителей те же, что и для выключателей серии А3100 на токи до 100 А.

Электротепловые токовые реле предназначены для защиты электродвигателя от недопустимого нагрева при длительных перегрузках. Обычно применяют два реле, нагревательные элементы которых включаются в две фазы статора. Блок-контакты их воздействуют на отключающее устройство. Иногда применяется одно реле с двумя нагревательными элементами и одним блок-контактом. Примером двухполюсного реле может служить реле типа ТРН (см. табл. 54), устанавливаемое в магнитных пускателях серии ПМЕ.

Очень важно обеспечить защиту электродвигателей от резкого снижения или исчезновения напряжения, так как снижение напряжения в асинхронных двигателях вызывает резкое увеличение потребляемого ими тока, а восстановление напряжения после его исчезновения — самозапуск двигателей, что может привести к несчастным случаям. В схемах контакторного управления эта защита осуществляется катушкой магнитного пускателя или контактора. При снижении напряжения более чем на 15 % удерживающее усилие катушки уменьшается и пускатель (контактор) отключается. Защиту от снижения напряжения обеспечивает также реле минимального напряжения.

После восстановления напряжения для включения двигателя необходимо повторно нажать кнопку или повернуть рукоятку командоконтроллера.

Глава VI

ВЫБОР ПИТАЮЩИХ ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

СПОСОБЫ ПРОКЛАДКИ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ

Электрические двигатели производственных механизмов, являющиеся потребителями электрической энергии, присоединяются к внутрицеховым шинопроводам или отдельно стоящим шкафам управления посредством проводов и кабелей.

Провода с резиновой, пластмассовой и другими видами изоляции изготовляют одно-, двух-, трех-, четырех- и многожильными на напряжения 380, 660 и 3000 В. Номенклатура некоторых проводов, сортамент и рекомендуемые области применения их приведены в табл. 65—68.

65. Номенклатура установочных проводов

Марка	Характеристика	ГОСТ или ТУ
1	2	3
	Провода с резиновой изоляцией	
АППР	С алюминиевой жилой, резиновой изоляцией, не распространяющей горение	ГОСТ 20520—75
АПР	То же, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостным составом	То же
АПРВ	С алюминиевой жилой в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, в оболочке из поливинилхлоридного пластиката	»
АПРН	То же, в оболочке из резины, не распространяющей горение	»
АПРТО	То же, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостным составом, для прокладки в трубах	»
АПРФ	То же, в оболочке из сплава АМЦ с фальцованным швом	ГОСТ 1843—69
АРТ	То же, с резиновой изоляцией с несущим тросом	ГОСТ 14175—69

1	2	3
ПР	То же, с медной жилой в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостным составом	ГОСТ 20520—75
ПРВ	То же, в оболочке из поливинилхлоридного пластиката	То же
ПРВД	То же, двужильный витой	ТУ 16.505.904—75
ПРГ	То же, с гибкой медной жилой, с резиновой изоляцией, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостным составом	ГОСТ 20520—75
ПРГВ	То же, в оболочке из поливинилхлоридного пластиката	То же
	Провода с пластмассовой изоляцией	
АВТ-1	С алюминиевыми жилами, поливинилхлоридной изоляцией с несущим тросом	ГОСТ 14175—69
АВТ-2	То же, с усиленным несущим тросом	То же
АПП	То же, с полиэтиленовой изоляцией	ГОСТ 6323—71
ВПВ	То же, с медной жилой, полиэтиленовой изоляцией, в поливинилхлоридной оболочке для питания водопогружных электродвигателей	ТУ 16.505.364—69
ВПП	То же, в полиэтиленовой оболочке	То же
ПВ	То же, с поливинилхлоридной изоляцией для открытой прокладки	»
ПГВ	То же, гибкий	ГОСТ 6323—71
	Провода для выводов электродвигателей	
ПАЛ	С медной жилой, с асбестовой изоляцией для рабочих температур до +200 °С, лакированный	ТУ 16.505.656—74
ПАЛО	То же, облегченный	То же
ПВБЛ	То же, с изоляцией из резины на основе бутилкаучука в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостным составом для рабочих температур до +105 °С	ГОСТ 16036—70

1	2	3
	Провода гибкие лакированные	
ЛПРГС	С медной гибкой жилой, резиновой изоляцией, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, покрытой лаком	ГОСТ 2262—75
ЛПРГСЭ	То же, экранированный	»

66. Сортамент установочных проводов

Марка	Число жил	S, мм², при $U_н$, В	
		380	660
	Провода с резиновой изоляцией		
АПР, АПРИ	1	—	2,5—120
ПР, ПРГ	1	—	0,75—120
ПРГВ	1	—	1—6
АПРВ	1,2	—	2,5—16
ПРВ	1,2	—	1—10
ПРВД, ПРД	2	0,75—6	—
АППР	2,4	—	2,5—10
	3	—	2,5
АРТ	2	—	2,5—4
	3	—	4—6
	4	—	4—35
АПРФ	1, 2, 3	—	2,5—4
	1, 2, 3	—	1—4
АПРТО	2,3	—	2,5—120
	4,7	—	2,5—10
	10,14	—	2,5
	Провода с пластмассовой изоляцией		
АПП, АПВ	1	2,5—120	2,5—120
ПВ, ПГВ	1	0,5—95	0,5—95
АВТ-1, АВТ-2	2,3	2,5—4	—
ВПВ, ВПП	1	—	1,5—50
	Провода для выводов электродвигателей		
ПАЛ, ПАЛО	1	—	0,75—50
ПВБЛ	1	—	2,5—50
	Провода гибкие лакированные		
ЛПРГС*	1	0,5—95	—
	2,3	0,5—2,5	—
ЛПРГСЭ*	1	0,5—95	—
	2,3	0,5—2,5	—

* Сечения этих проводов указаны при $U_н = 220$ В.

67. Рекомендуемые области применения установочных проводов

Виды и способы проводки	Характеристика помещения				
	сухое	влажное	сырое и особо сырое	жаркое	пыльное
Открытая по несгораемым и трудносгораемым конструкциям:					
непосредственно	АПРН, ПРГВ, АПРФ	АПВ, АПП, АПРВ, АППР, АПРН, ПРГВ, АПРФ	АПВ, АПРВ, АППР	АПРФ	АПРФ, АПРВ, АППР, АПРН
на роликах и изоляторах	АПР, ПРД, ПРВД	АПР, ПРВД, ПРД, АПП	АПВ, АПРВ, АПП	АПР	АПР
в винипластовых трубах	АПРВ, АПР, ПРГВ	АПРТО, АПРВ, ПРГВ	АПВ, АПРТО, АПРВ	—	АПРВ, АПР
в стальных трубах	АПРТО, АПРВ, АПР, ПРГВ	АПВ, АПРТО, АПРВ, АПП, ПРГВ	АПВ, АПРТО, АПРВ	АПРТО, АПР, АПРВ	АПРТО, АПРВ, АПР
в коробах и лотках	АПРВ, АПРН, АПР	АПВ, АПРН, АПРВ	АПВ, АПРВ	АПРВ, АПРН, АПР	АПРВ, АПРН, АПР
тросовая	АРТ, АВТ-1, АВТ-2	АРТ, АВТ-1, АВТ-2	АРТ, АВТ-1, АЬТ-2	АРТ, АВТ-1, АВТ-2	АРТ, АВТ-1, АВТ-2
в гибких металлических рукавах	АПРТО, АПРВ, АПР, ПРГВ	АПВ, ПРГВ, АПР1О	АПВ, АПРВ	АПРТО, АПРВ, АПР	АПРТО, АПРВ, АПР
Открытая по сгораемым конструкциям и поверхностям:					
непосредственно	АПРФ	АПРФ	—	—	—

с подкладкой несгораемых или трудносгораемых материалов	АПВ, АПРВ, АПП	АПВ, АПРВ, АПП	АПВ, АПП, АПРВ	—	АПВ
на роликах и изоляторах	АПР, ПРВД	АПВ, АПП, ПРВД	АПВ, АПРВ, АПП	—	—
в стальных трубах	АПРТО, АПРВ, АПР, ПРГВ	АПВ, АПРТО, АПРВ, ПРГВ	АПВ, АПРТО, АПП, АПРВ	—	АПВ, АПП, АПРТО, АПРВ, АПР
в коробах и лотках	АПРВ, АПРН, АПР	АПВ, АПРВ, АПП	АПВ, АПП, АПРВ, АРТ	—	—
тросовая	АРТ, АВТ-1, АВТ-2	АВТ-1, АВТ-2	—	—	—
в гибких металлических рукавах	АПРТО, АПРВ, АПР, ПРГВ	АПВ, АПРТО, АПРВ, ПРГВ	АПВ, АПП, АПРВ	—	—
Скрытая по несгораемым, трудносгораемым и сгораемым конструкциям:					
в винилитовых, полиэтиленовых и полипропиленовых трубах	АПРВ, АПР, ПРГВ	АПВ, АПРТО, АПРВ, АПП	АПВ, АПП, АПРВ	АПРВ, АПРН, АПР	—
в стальных трубах	АПРТО, АПРВ, АПР, ПРГВ	АПВ, АПРТО, АПРВ, АПП, ПРГВ	АПВ, АПП, АПРВ	АПРТО, АПРВ, АПРН, АПР	—
в коробах	АПРВ, АПРН, АПР	АПВ, АПП, АПРВ	АПВ, АПП	—	—
под штукатуркой	АПВ, АПП	АПВ, АПП	АПВ	—	—
в каналах строительных конструкций	АПВ, АПП	АПВ, АПП	АПВ, АПП	—	—

68. Технические данные проводов с поливинилхлоридной изоляцией для электрических установок (по ГОСТ 6323—79)

Марка	Характеристика	Область применения	Число жил	S, мм²
АПВ	С алюминиевой жилой, с поливинилхлоридной изоляцией	Для монтажа вторичных цепей, прокладки в трубах, пустотных каналах несгораемых строительных конструкций и для монтажа силовых и осветительных сетей	1	2,5—120,0
ПВ1	То же, с медной жилой	То же	1	0,5—95,0
ПВ2	С медной жилой, с поливинилхлоридной изоляцией, гибкий	Для монтажа вторичных цепей, гибкого монтажа при скрытой и открытой прокладках	1	2,5—95,0
ПВ3	То же, повышенной гибкости	То же	1	0,5—95,0
ПВ4	То же, особо гибкий	Для особо гибкого монтажа вторичных цепей при скрытой и открытой прокладках	1	0,5—6,0
АППВ	С алюминиевыми жилами, с поливинилхлоридной изоляцией, плоский, с разделительным основанием	Для монтажа силовых и осветительных сетей в машинах и станках и для неподвижной открытой прокладки	2 и 3	2,5—6,0
ППВ	То же, с медными жилами	То же	2 и 3	0,75—4,0
АППВС	С алюминиевыми жилами, с поливинилхлоридной изоляцией, без разделительного основания	Для неподвижной скрытой прокладки под штукатуркой, для прокладки в трубах и пустотных каналах несгораемых строительных конструкций	2 и 3	2,5—6,0
ППВС	То же, с медными жилами	То же	2 и 3	0,75—4,0

Для обеспечения надежной защиты от механических повреждений провода прокладывают в защитных трубах. Номинальные диаметры и сечения проводов, а также размеры труб в зависимости от числа и сечения затягиваемых проводов приведены в табл. 69 и 70. Такая прокладка согласно ПУЭ обязательна для взрывоопасных помещений, для этого предназначены и специальные кабели типов ВБВ и АББВ.

Стоечная и подпольная прокладка проводов в защитных трубах обеспечивает высокую надежность и хорошую механическую защиту их.

Разновидностью подпольной прокладки является модульная, выполняемая в стальных, полиэтиленовых и винипластовых трубах с выходом их на колонки, к каждой из которых подключается группа электродвигателей.

Открытая прокладка проводов в цехе с креплением на роликах, изоляторах, тросах и других конструкциях является наиболее простой и дешевой, но она не обеспечивает достаточной надежности и защиты проводов от механических повреждений. Более совершенной является прокладка проводов в лотках и коробах. Особенно удобен этот вид прокладки при большом количестве проводов и кабелей для сложных многодвигательных агрегатов и автоматических линий.

69. Номинальные диаметры и сечения проводов с медными и алюминиевыми круглыми жилами (по ГОСТ 1956—70)

Сечение, мм²	Число проволок	Диаметр жилы, мм	Сечение, мм²	Число проволок	Диаметр жилы, мм
0,1	1	0,37	35	7/1	7,53/6,60
0,2	1	0,52	50	7/1	9,05/9,00
0,35	1	0,62	70	19	10,65
0,5	1	0,79	95	19	12,55
0,75	1	0,97	120	37	14,07
1,0	1	1,13	150	37	15,68
1,5	1	1,37	185	37	17,57/15,3
2,5	1	1,76	240	61	20,16/17,4
4	1	2,24	300	61	22,59/19,5
6	1	2,73	400	61	25,65/22,5
10	7/1	4,11/3,55	500	91	28,71/25,2
16	7/1	5,10/4,50	625	127	32,63/28,2
25	7/1	6,30/5,60			

Примечание. Цифры в числителе обозначают диаметр жилы при семи и более проволоках, в знаменателе — при одной проволоке.

70. Рекомендуемые диаметры труб (мм) для проводов различных сечений

S мм²	Количество одножильных проводов марок ПР, АПР, ПРГ, ПВ, ПРТО в трубах				Один многожильный провод марки ПРТО или АПРТО в трубе		
	1	2	3	4	двухжильный	трехжильный	четырехжильный
1,5	15	15	15	15	15	15	15
2,5	15	15	21	21	15	21	21
4	15	21	21	21	21	21	21
6	15	21	21	21	21	21	21
10	15	27	27	27	27	27	27
16	15	27	27	41	27	41	41
25	21	41	41	41	41	41	41
35	21	41	41	41	41	41	41
50	27	41	41	53	53	53	53
70	27	53	53	68	53	53	68
95	36	53	68	68	68	68	68
120	36	68	68	80	68	68	80

71. Технические данные шинопроводов

Тип	$I_н$, А	Динамическая стойкость, кА	Сечение рабочей шины, мм
Магистральные переменного тока			
ШМА-73	1600	70	2(90×80)
ШМА-59-Н	2500	70	2(120×10)
	4000	100	2(160×12)
Магистральные постоянного тока			
ШМАД-70	1600	60	2(80×8)
ШМАДК-70	2500	80	3(80×8)
	4000	110	3(120×10)
	6300	125	3(160×12)
Распределительные четырехпроводные			
ШРА-73	250	15	35×5
	400	25	50×5
	630	35	80×5
Осветительные четырехпроводные			
ШОС-67	25	3	6
ШОС-73А	63	5	10
ШОС-73	100	5	10
Троллейные четырехпроводные			
ШТМ-76	100	5	40
ШТМ-70	200	10	70
ШТМ-72	400	25	100

Троллейные токопроводы (троллеи) прокладываются для питания перемещающихся приемников (мостовых кранов, тельферов, тележек). Троллеи выполняются из профильной стали (обычно уголковой) или троллейными шинопроводами ШТМ (табл. 71). Для питания электродвигателей производственных механизмов в цехах промышленных предприятий широко применяются закрытые магистральные шинопроводы серии ШМА и распределительные закрытые шинопроводы серии ШРА с алюминиевыми шинами.

Шинопроводы серии ШМА служат для передачи электрической энергии трехфазного тока частотой 50 Гц при напряжении до 660 В в цехах и установках, не содержащих токопроводящей пыли, химически активных газов и испарений.

72. Технические данные силовых кабелей (по ГОСТ 433—73)

Марка	Оболочка и защитный покров	Область применения	Число основных жил	Сечение жил, мм²
1	2	3	4	5
СРГ	Свинцовая оболочка	Внутри помещений, в каналах, туннелях, в местах, не подверженных вибрации, в условиях отсутствия механических воздействий на кабель, в среде, нейтральной по отношению к свинцу	1	1—240
АСРГ	То же	То же	1	4—300
СРБ	Свинцовая оболочка, защитный покров типа Б	В земле (траншеях), если кабель не подвергается значительным растягивающим усилиям	2 и 3	2,5—185
АСРБ	То же	То же	2 3	4—240 2,5—240
ВРГ, ВРТГ	Поливинилхлоридная оболочка	Внутри помещений, в каналах, туннелях, в условиях отсутствия механических воздействий на кабель и при наличии агрессивных сред (кислот, щелочей и др.)	1—3	1—240
АВРГ, АВРТГ	То же	То же	1 2 и 3	4—300 2,5—300

1	2	3	4	5
ВРБ, ВРТБ	Поливинилхлоридная оболочка, защитный покров типа Б	В земле (траншеях), если кабель не подвергается значительным растягивающим усилиям	2 и 3	2,5—185
АВРБ, АВРТБ	То же	То же	2 3	4—240 2,5—240
ВРБГ, ВРТБГ	Поливинилхлоридная оболочка, защитный покров типа БГ	Внутри помещений, в каналах, туннелях, если кабель не подвергается значительным растягивающим усилиям	2 и 3	2,5—185
АВРБГ, АВРТБГ	То же	То же	2 3	4—240 2,5—240
НРБГ	Резиновая маслостойкая оболочка, не распространяющая горение, защитный покров типа БГ	»	2 и 3	2,5—185
АНРБГ	То же	»	2 3	4—240 2,5—240
НРГ	Резиновая маслостойкая оболочка, не распространяющая горение	Внутри помещений, в каналах, туннелях, в условиях отсутствия механических воздействий на кабель	1—3	1—240
АНРГ	То же	То же	1	4—300
НРБ	То же, защитный покров типа Б	В земле (траншеях), если кабель не подвергается значительным растягивающим усилиям	2 и 3	2,5—185
АНРБ	То же	То же	2 3	4—240 2,5—240
ВРБн, ВРТБн	Поливинилхлоридная оболочка, защитный покров типа Бн	То же, а также когда требуется стойкость к распространению горения	2 и 3	2,5—185
АВРБн, АВРТБн	То же	То же	2 3	4—240 2,5—240

Примечание. Кабели марок ВРТГ, АВРТГ, ВРТБ, АВРТБ, ВРТБГ, АВРТБГ, ВРТБн, АВРТБн выдерживают длительное воздействие температуры на жиле до 90 °С, кабели остальных марок — до 65 °С.

73. Номенклатура гибких кабелей напряжением до 660 В (по ГОСТ 13497—77)

Марка	Характеристика	Область применения
КРПТ	С медными жилами, резиновой изоляцией, в резиновой оболочке	При изгибах радиусом не менее 8 диаметров кабеля; при температуре окружающей среды от минус 40 до плюс 50 °С
КРПТН	С медными жилами, резиновой изоляцией, в резиновой маслостойкой оболочке, не распространяющей горение	При изгибах радиусом не менее 8 диаметров кабеля; при возможности попадания на оболочку масла; при температуре окружающей среды от минус 30 до плюс 50 °С
КРПГ	С медными жилами повышенной гибкости, резиновой изоляцией, в резиновой оболочке	При изгибах радиусом не менее 5 диаметров кабеля; при температуре окружающей среды от минус 50 до плюс 50 °С
КРПГН	С медными жилами повышенной гибкости, резиновой изоляцией, в резиновой маслостойкой оболочке, не распространяющей горение	При изгибах радиусом не менее 5 диаметров кабеля; при возможности попадания на оболочку масла; при температуре окружающей среды от минус 30 до плюс 50 °С
КРПС	С медными жилами повышенной гибкости, резиновой изоляцией, с профилированным сердечником, в резиновой оболочке	При изгибах радиусом не менее 5 диаметров кабеля; при возможности воздействия на кабель ударных и раздавливающих нагрузок; при температуре окружающей среды от минус 50 до плюс 50 °С
КРПСН	С медными жилами повышенной гибкости, резиновой изоляцией, с профилированным сердечником, в резиновой маслостойкой оболочке, не распространяющей горение	При изгибах радиусом не менее 5 диаметров кабеля; при возможности воздействия на кабель ударных и раздавливающих нагрузок и попадания на оболочку масла; при температуре окружающей среды от минус 30 до плюс 50 °С
КРШК	С медными жилами повышенной гибкости, резиновой изоляцией с заполнениями, в резиновой оболочке	При изгибах радиусом не менее 10 диаметров кабеля; при температуре окружающей среды от минус 50 до плюс 50 °С

Распределительный шинопровод серии ШРА предназначен для распределения электрической энергии трехфазного тока частотой 50 Гц при напряжении до 400 В в цехах с нормальной окружающей средой.

Электрические двигатели большой мощности присоединяются к шкафам управления посредством кабельных линий. В цехах кабели прокладываются в каналах закрытыми несгораемыми плитами или при небольшом числе кабелей в одном направлении — в трубах, укрепленных скобами по стенам и потолку. В табл. 72 приведены основные технические данные силовых кабелей с медными и алюминиевыми жилами, с резиновой изоляцией, предназначенных для неподвижной прокладки в электрических сетях напряжением 660 В. Для присоединения передвижных механизмов к электрическим сетям на номинальное напряжение до 660 В применяются гибкие силовые кабели (табл. 73, 74). В этих целях можно использовать также силовые гибкие экранированные кабели с медными жилами, с резиновой изоляцией в резиновой оболочке ГРШЭ (ГОСТ 10694—78).

74. Сечение жил гибких кабелей, мм²

Основных	Заземления		Вспомогательных	
	КРПТ, КРПТН, КРПС, КРПСН, КРШК	КРПГ, КРПГН	КРПГН	КРПС, КРПСН
0,75	0,75	0,75	—	—
1,0	1,0	1,0	—	—
1,5	1,0	1,5	1,5	—
2,5	1,5	2,5	2,5	1,5
4,0	2,5	4,0	4,0	2,5
6,0	4,0	6,0	6,0	4,0
10	6,0	10	10	6,0
16	6,0	16	—	6,0
25	10	25	—	10
35	10	35	—	10
50	16	50	—	10
70	25	70	—	—
95	35	—	—	—
120	35	—	—	—
150	50	—	—	—

Примечание. Обозначение кабеля марки КРПС с тремя основными жилами сечением 2,5 мм², одной жилой заземления сечением 1,5 мм² и одной вспомогательной жилой сечением 1,5 мм²: КРПС 3×2,5+1×1,5+1×1,5 (ГОСТ 13497—77).

Вид электропроводки и способ ее прокладки, а также марка проводов и кабелей выбираются в зависимости от среды производственных помещений, которые в соответствии с ПУЭ делятся на сухие, влажные, сырые, особо сырые, жаркие, пыльные, с химически активной средой, пожароопасные и взрывоопасные (Кузнецов Б. В., Сацукевич М. Ф. Справочное пособие заводского электрика. Мн., 1978).

Для электрических сетей следует применять проводники с алюминиевыми жилами. Проводники с медными жилами из-за дефицита меди допускается использовать только в особых случаях, установленных ПУЭ, например для питания электроприводов в механизмах передвижения крановых установок, а также во взрывоопасных помещениях классов В-1 и В-Ia.

ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И СИЛОВЫХ СЕТЕЙ

Рассматривая защиту силовых сетей, необходимо учитывать защиту как собственно электроприемников (электродвигателей), так и электрической сети. Если ответвление питает только один электродвигатель, то защита ответвления совмещается с защитой электродвигателя.

Электродвигатели должны иметь аппараты, защищающие их при междуфазовом коротком замыкании, однофазном замыкании на корпус, перегрузке, понижении или исчезновении напряжения.

Защита от коротких замыканий обязательна для всех электродвигателей (силовых электроприемников) и всех силовых электрических сетей.

Защита от перегрузки выполняется для электродвигателей длительного режима работы, за исключением тех случаев, когда такая перегрузка маловероятна (двигатели привода вентиляторов, насосов и т. д.). Для электродвигателей, работающих в повторно-кратковременном режиме, защита от перегрузки не выполняется.

Электродвигатели, устанавливаемые во взрывоопасных помещениях, защищаются от перегрузки во всех случаях.

От перегрузки необходимо защищать также: сети внутри помещений (цехов), проложенные открыто незащищенными изолированными проводами с горючей оболочкой; сети, выполненные кабелями и проводами, проложенными в трубах; сети, проложенные во взрывоопасных помещениях.

Защиту от понижения напряжения устанавливают на крупных электродвигателях, работа которых не допускается при пониженном напряжении.

Защитными аппаратами от коротких замыканий являются плавкие предохранители, автоматические воздушные выключатели и максимальные токовые электромагнитные реле, воздействующие на отключающие аппараты.

Магнитные пускатели с электротепловыми реле защищают электродвигатель от перегрузки и от понижения или исчезновения напряжения. Контакторы защищают электродвигатель только от понижения или исчезновения напряжения.

Аппараты, устанавливаемые в сетях до 1000 В для защиты от коротких замыканий и перегрузки, должны быть выбраны так, чтобы номинальный ток каждого из них $I_{н.з.а}$ был не менее расчетного тока $I_{расч}$ электроприемника (электродвигателя) или рассматриваемого участка сети:

$$I_{н.з.а} \geqslant I_{расч}.$$

Выбор плавких вставок предохранителей. Опытным путем установлено, что если кратность пускового тока приемника не превышает 2,5, то плавкую вставку можно выбирать по расчетному току линии. Номинальный ток плавкой вставки $I_{н.вст}$ должен быть равен или больше расчетного тока линии:

$$I_{н.вст} \geqslant I_{расч}.$$

Этому условию удовлетворяют электродвигатели с реостатным пуском, трансформаторы, лампы накаливания.

Для ответвления к одиночному короткозамкнутому электродвигателю величина тока плавкой вставки $I_{вст}$ предохранителя должна удовлетворять условию:

$$I_{вст} \geqslant I_{пуск}/2{,}5,$$

где $I_{пуск}$ — пусковой ток электродвигателя.

Для ответвлений к одиночным электродвигателям с тяжелыми условиями пуска и длительностью пускового периода более 2—2,5 с (крупные вентиляторы, краны, дробилки и т. д.)

$$I_{вст} \geqslant I_{пуск}/1{,}6—2.$$

Плавкая вставка предохранителя, устанавливаемого для защиты линии, питающей группу электродвигателей, выбирается по двум условиям:

$$\left.\begin{array}{l} I_{вст} \geqslant I_{расч} \\ \text{и} \quad I_{вст} \geqslant (I_{пуск} + I'_{расч})/2{,}5 \end{array}\right\},$$

где $I_{расч}$ — расчетный ток группы двигателей, работающих в длительном режиме; $I_{пуск}$ — наибольший пусковой ток одного из электродвигателей данной группы; $I'_{расч}$ — расчетный ток остальных электродвигателей группы, работающих в длительном режиме.

Ток плавкой вставки выбирают по большей из величин, определенных по этим формулам. Затем выбранную плавкую вставку проверяют на срабатывание током короткого замыкания (сети с глухозаземленной нейтралью):

$I_{к.з}/I_{н.\ вст} \geqslant 3—4,$

где $I_{к.з}$ — ток короткого замыкания цепи «фаза — нулевой провод».

Выбор нагревательных элементов тепловых реле магнитных пускателей. Для электродвигателей с длительным режимом работы они выбираются по расчетному току $I_{расч}$ электродвигателя:

$I_{н.\ тепл} \geqslant I_{расч},$

где $I_{н.\ тепл}$ — номинальный ток нагревательного элемента.

Выбор тепловых расцепителей автоматических выключателей. Номинальный ток теплового расцепителя $I_{н.а.тепл}$ для ответвления к электродвигателю или линии, питающей группу двигателей, выбирается по расчетному току цепи:

$I_{н.а.тепл} \geqslant I_{расч}.$

При затяжных пусках двигателя

$I_{н.а.тепл} \geqslant (1,2—1,25)\ I_{расч}.$

При установке группы автоматических выключателей в закрытом шкафу

$I_{н.а.тепл} \geqslant (1,1—1,15)\ I_{расч}.$

Ток срабатывания $I_{ср}$ нагревательных элементов расцепителя или теплового реле

$I_{ср} \geqslant 1,25\ I_{н.\ а.тепл}.$

Выбор электромагнитных расцепителей автоматических выключателей. Номинальный ток электромагнитного $I_{н.а.эл.}$ или комбинированного расцепителя выбирается по длительному расчетному току линии (ответвления):

$I_{н.а.эл} \geqslant I_{расч}.$

Ток срабатывания (отсечки) $I_{ср.эл}$ электромагнитного или комбинированного расцепителя проверяется по максимальному кратковременному току $I_{кр}$ линии (установки):

$I_{ср.эл} \geqslant 1,25\ I_{кр}.$

Для ответвления к одиночному электродвигателю максимальный кратковременный ток линии равен пусковому току электродвигателя $I_{кр} = I_{пуск}$.

Установка автоматов, имеющих только электромагнитные расцепители, на ответвлениях к короткозамкнутым электродвигателям не рекомендуется, поскольку это вызывает резкое увеличение сечений проводов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ ПО НАГРЕВУ

При прохождении тока по проводнику выделяется тепло и он нагревается. Излишне высокая температура изолированного провода вызывает быстрый его износ. Изоляция провода при сильном нагреве может обуглиться и даже загореться, что особенно опасно для пожароопасных и взрывоопасных помещений.

Для безаварийной работы проводов и кабелей ПУЭ установлена предельная длительно допустимая температура нагрева (55—70°С) в зависимости от марки провода и кабеля и способа их прокладки (монтажа).

В табл. 75—77 приведены длительно допустимые токовые нагрузки на провода и кабели для нормальных условий прокладки.

Нормальными условиями прокладки на воздухе считается прокладка проводов или кабелей на расстоянии друг от друга в свету не менее 35 мм (при прокладке в канале —

75. Длительно допустимые токовые нагрузки (А) на неизолированные провода, проложенные внутри помещений, исходя из допустимой температуры нагрева +70° С при температуре воздуха +25 °С

Сечение токопроводящей жилы, мм²	Медные (М)	Алюминиевые (А)	Сталеалюминиевые (АС)	Стальные (ПС)
4	25	—	—	—
6	35	—	—	—
10	60	—	50	—
16	100	75	75	—
25	135	105	100	60
35	170	130	135	75
50	215	165	165	90
70	270	210	210	125
95	335	255	260	135
120	395	300	305	—
150	415	355	365	—

76. Длительно допустимые токовые нагрузки (А) на провода с резиновой и пластмассовой изоляцией и шнуры с резиновой изоляцией, исходя из максимально допустимой температуры нагрева +55 °С при температуре воздуха +25 °С

Сечение токопроводящей жилы, мм²	Провода, проложенные открыто	Провода, проложенные в одной трубе				
		два одножильных	три одножильных	четыре одножильных	один двухжильный	один трехжильный
С медными жилами						
0,5	11	—	—	—	—	—
0,75	15	—	—	—	—	—
1,0	17	16	15	14	15	14
1,5	23	19	17	16	18	15
2,5	30	27	25	25	25	21
4,0	41	38	35	30	32	27
6,0	50	46	42	40	40	34
10,0	80	70	60	50	55	50
16,0	100	85	80	75	80	70
25,0	140	115	100	90	100	85
35,0	170	135	125	115	125	100
50,0	215	185	170	150	160	135
70,0	270	225	210	185	195	175
95,0	330	275	255	225	245	215
120,0	385	315	290	260	295	250
150,0	440	360	330	—	—	—
С алюминиевыми жилами						
2,5	24	20	19	19		
4,0	32	28	28	23		
6,0	38	36	32	30		
10,0	55	50	47	39		
16,0	80	60	60	55		
25,0	105	85	80	70		
35,0	130	100	95	120		
50,0	165	140	130	120		
70,0	210	175	165	140		
95,0	255	215	220	175		
120,0	295	245	220	200		
150,0	340	275	255	—		

не менее 50 мм) при температуре окружающего воздуха + 25 °С. В земле нормальной считается прокладка одного кабеля в траншее на глубине 0,7 м при температуре почвы + 15 °С. При значениях температур, отличных от указанных, и при прокладке нескольких кабелей в общей траншее к токовым нагрузкам, указанным в таблицах, вводятся поправочные коэффициенты — температурный K_1 (табл. 78)

77. Длительно допустимые токовые нагрузки (А) на кабели с бумажной пропитанной изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, исходя из максимально допустимой температуры нагрева жил 80 °С

Сечение токопроводящей жилы, мм²	Прокладка кабелей							
	в земле при +15 °С				в воздухе при +25 °С			
	Материал жил							
	медь		алюминий		медь		алюминий	
	Число жил кабеля							
	3	4	3	4	3	4	3	4
1,5	30	—	—	—	18	—	—	—
2,5	40	—	31	—	28	—	22	—
4,0	55	50	42	38	37	35	29	27
6,0	70	60	55	46	45	45	35	35
10,0	95	85	75	65	60	60	46	45
16,0	120	115	90	90	80	80	60	60
25,0	160	150	125	115	105	100	80	75
35,0	190	175	145	135	125	120	95	95
50,0	235	215	180	165	155	145	120	110
70,0	285	265	220	200	200	185	155	140
95,0	340	310	260	240	245	215	190	165
120,0	390	350	300	270	285	260	220	200
150,0	435	395	335	300	330	300	255	230

Примечание. Токовые нагрузки на кабели приведены при напряжении до 1 кВ.

и прокладки K_2 (табл. 79). Чем больше кабелей проложено в одной траншее, тем хуже условия их охлаждения.

Если условия проводки требуют введения нескольких поправок, то общий поправочный коэффициент определяется перемножением отдельных коэффициентов.

При определении числа проводов, проложенных в одной трубе, нулевой провод четырехпроводной системы трехфазного тока в расчет не принимается.

Длительно допустимые токовые нагрузки на провода, проложенные в коробах, а также в лотках пучками, принимаются как на провода, проложенные в трубах.

Если в трубах, коробах, а также в лотках проложено одновременно больше четырех проводов, нагрузка на них должна приниматься как для проводов, проложенных открыто (в воздухе), с введением снижающих коэффициентов: 0,68 для 5—6; 0,63 для 7—9 и 0,6 для 10—12 проводов.

78. Поправочный коэффициент K_1 на температуру земли и воздуха для допустимых токовых нагрузок на кабели, неизолированные и изолированные провода и шины

Нормированная температура жил, °С	Расчетная температура среды, °С	Фактическая температура среды, °С											
		−5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
80	15	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68
	25	1,24	1,20	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74
70	25	1,29	1,24	1,20	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
65	15	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55
	25	1,32	1,27	1,22	1,17	1,12	1,06	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
60	15	1,20	1,15	1,12	1,06	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,57	0,47
	25	1,36	1,31	1,25	1,20	1,13	1,07	1,00	0,93	0,85	0,76	0,66	0,54
55	15	1,22	1,17	1,12	1,07	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71	0,61	0,50	0,36
	25	1,41	1,35	1,29	1,23	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
50	15	1,25	1,20	1,14	1,07	1,00	0,93	0,84	0,76	0,66	0,54	0,37	—
	25	1,48	1,41	1,34	1,26	1,18	1,09	1,00	0,89	0,78	0,63	0,45	—

79. Поправочный коэффициент K_2 на число работающих кабелей, укладываемых рядом в земле без труб и в трубах

Расстояние в свету, мм	Число кабелей					
	1	2	3	4	5	6
100	1	0,90	0,85	0,80	0,78	0,75
200	1	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	1	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

Сечение проводов и кабелей для напряжения до 1000 В по условию нагрева определяется по табл. 75—77 в зависимости от расчетного значения длительно допустимой токовой нагрузки при нормальных условиях прокладки из двух соотношений:

по условию нагрева длительным расчетным током

$I_{доп} \geqslant I_{расч}/K_1K_2,$

где $I_{доп}$ — длительно допустимый ток провода;

по условию соответствия выбранному аппарату максимальной токовой защиты

$I_{доп} \geqslant K_з\, I_{з.а}/K_1K_2,$

где $K_з$ — коэффициент защиты, т. е. отношение длительно допустимого тока для провода или кабеля к номинальному току или току срабатывания защитного аппарата (табл. 80); $I_{з.а}$— номинальный ток или ток срабатывания защитного аппарата, А.

При нормальных условиях прокладки $K_1K_2 = 1$, и тогда указанные соотношения упрощаются:

$I_{доп} \geqslant I_{расч};$
$I_{доп} \geqslant K_з\, I_{з.а}.$

Сечения проводов и кабелей для ответвлений к короткозамкнутым электродвигателям, установленным во взрывоопасных помещениях, должны быть рассчитаны на ток не менее 125 % номинального тока электродвигателя. Сечения проводов для ответвлений к короткозамкнутым электродвигателям в сетях, проложенных в невзрывоопасных помещениях и защищаемых от перегрузки, выбираются по номинальному току электродвигателя. При этом в обоих случаях проверка кратности защитных аппаратов производится только как для сетей, защищаемых от коротких замыканий.

80. Коэффициент K_3 при защите сетей предохранителями и автоматами

Ток и тип защитного аппарата	Сети, защищаемые от перегрузки			Сети, не требующие защиты от перегрузки
	провода с резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией		кабели с бумажной изоляцией	
	взрыво- и пожароопасные, служебно-бытовые помещения промышленных предприятий	невзрыво- и непожароопасные производственные помещения промышленных предприятий		
Номинальный ток плавкой вставки предохранителей	1,25	1,0	1,0	0,33
Ток уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель	1,25	1,0	1,0	0,22
Номинальный ток расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависимой от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки)	1,0	1,0	1,0	1,0
Ток трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратно зависимой от тока характеристикой (при наличии на автоматическом выключателе отсечки ее кратность тока не ограничивается)	1,0	1,0	0,8	0,66

РАСЧЕТ ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ ПО ПОТЕРЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Электрические провода и кабели, выбранные по току нагрузки и рассчитанные на нагрев, как правило, должны проверяться по потере напряжения. Исключение составляют силовые сети, питающиеся от встроенных и пристроенных комплектных подстанций КТП и КТПН. Согласно ПУЭ, для силовых сетей отклонение напряжения от номинального

должно составлять не более ± 5 %. Это требование обусловлено тем, что величина вращающего момента электродвигателей зависит от квадрата подведенного напряжения, и его уменьшение ниже допустимого не обеспечит пуск механизмов. В особых случаях для электродвигателей допускается отклонение напряжения от номинального до $+$ 10 %. В этом случае намагничивающий ток и реактивная мощность электродвигателя возрастают, что приводит к уменьшению коэффициента мощности cos φ. Кроме того, увеличиваются потери на нагрев статора и общий нагрев двигателя.

Исходя из допустимых отклонений напряжения, можно определить величину допустимых потерь напряжения в сети. Она должна быть такой, чтобы отклонения напряжения на зажимах двигателей не превышали указанных выше значений.

Без учета индуктивного сопротивления проводов рассчитываются сети: переменного тока, для которых можно принять cos φ = 1; выполненные проводами и кабелями сечением до 6 мм² включительно; выполненные проводами или кабелями, если их сечения не превышают указанных в табл. 81. Все остальные сети должны рассчитываться с учетом индуктивного сопротивления.

81. Провода и кабели, рассчитываемые без учета индуктивного сопротивления

Вид проводки	Коэффициент мощности					
	0,9		0,8		0,7	
	Материал провода					
	медь	алюминий	медь	алюминий	медь	алюминий
Кабели и провода в трубах, мм²	70	120	35	70	25	50
Провода на роликах и изоляторах, мм²	16	25	10	16	6	10

Провода и кабели электрической сети в большинстве случаев выполняются из одного материала с одинаковым сечением. Поэтому, если у потребителя cos φ < 1 на всех силовых нагрузках, то потеря напряжения в сети трехфазного тока

$$\Delta U\ \% = \frac{\sqrt{3}\cdot 100}{U_{н}} (r_0 \cos\varphi + x_0 \sin\varphi) \sum I_{расч}\, l,$$

где r_0, x_0 — активное и индуктивное сопротивления, Ом/км; $I_{расч}$ — ток, протекающий по расчетному участку, А; l — расчетная длина участка, км.

Если нагрузка задана мощностями, то

$$\Delta U\ \% = \frac{10^5}{U_н^2 \cos\varphi}(r_0 \cos\varphi + x_0 \sin\varphi)\, \Sigma P_{расч} l,$$

где $P_{расч}$ — расчетная мощность на участке, кВт.

Потеря напряжения ΔU % в сети трехфазного тока напряжением до 1000 В небольшой длины, выполненной медными или алюминиевыми проводами, может быть определена по упрощенным формулам:

при нагрузке в конце линии

$$\Delta U\ \% = \frac{10^5 P_{расч} l}{U_н^2 \gamma S},$$

при нагрузках, присоединенных по длине линии

$$\Delta U\ \% = \frac{10^5}{U_н^2 \gamma S}\, \Sigma P_{расч} l,$$

где γ — удельная электрическая проводимость провода, м/Ом.мм^2.

Пример 22. Определить номинальный ток расцепителя автоматического выключателя, встроенного с группой других выключателей в шкаф, и выбрать сечение провода из условия нагрева и соответствия току расцепителя для присоединения асинхронного электродвигателя $P_н = 40$ кВт; $U_н = 380$ В; $I_н = 73{,}1$ А; $I_{пуск}/I_н = 6$; $I_{пуск} = 437$ А. Двигатель и защитная аппаратура установлены в помещении с нормальной средой.

Поправочный коэффициент $K_1 = 1$ (температура воздуха в помещении 25 °С). По расчетному току двигателя $I_{расч} = I_н = 73{,}1$ А выбираем автоматический выключатель А3710Б на 160 А (см. табл. 64).

Так как автоматический выключатель встроен в шкаф, то при выборе электромагнитного расцепителя следует учесть тепловой поправочный коэффициент

$I_{а.эл} = 1{,}15\ I_{расч} = 1{,}15 \times 73{,}1 = 84{,}1$ А.

По расчетному току выбираем расцепитель с номинальным током $I_{н.а.эл} = 100$ А и током мгновенного срабатывания 1600 А.

Определяем ток срабатывания автомата при пуске $I_{ср.эл} = 1{,}25\ I_{пуск} = 1{,}25 \times 437 = 546$ А.

Так как $I_{ср.эл} = 546$ А меньше тока мгновенного срабатывания, то автомат при пуске не сработает.

Подбираем по табл. 65, 66 и 76 три одножильных провода с алюминиевыми жилами марки АПРТО сечением 25 мм², для которых допустимая токовая нагрузка равна 80 А. Проверяем выбранное се-

чение по коэффициенту защиты аппарата. Так как в автоматических выключателях серии А3700 ток уставки не регулируется, то кратность допустимого тока ответвления должна определяться по отношению к номинальному току расцепителя, в данном случае равному $I_{з.а} = 100$ А. Находим значение $K_з$ для сетей, не требующих защиты от перегрузки, для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависимой от тока характеристикой (см. табл. 80): $K_з = 1$.

Так как $K_з I_{з.а} = 1 \cdot 100 = 100$ А $> I_{доп} = 80$ А, следовательно, требуемое условие не выполняется.

Окончательно выбираем сечение провода 50 мм²; $I_{доп} = 130$ А, для которого условие $I_{доп} \geqslant K_з I_{з.а}$, выполняется, так как $I_{доп} = 130$ А $> K_з I_{з.а} = 1 \cdot 100 = 100$ А.

Пример 23. Определить потерю напряжения в процентах к номинальному в сети трехфазного переменного тока напряжением $U_н = 380$ В, выполненной медными проводами сечением 4 мм², длиной 12 м. В конце сети присоединен электродвигатель мощностью $P_н = 10$ кВт; $\cos\varphi_н = 0{,}82$; $\eta_н = 0{,}865$.

Расчетный ток электродвигателя

$$I_{расч} = I_н = \frac{P_н 10^3}{\sqrt{3}\, U_н \cos\varphi_н \eta_н} = \frac{10 \cdot 10^3}{1{,}73 \cdot 380 \cdot 0{,}82 \cdot 0{,}865} =$$
$$= 21{,}5 \text{ А}.$$

Потерю напряжения ΔU определяем без учета индуктивного сопротивления проводов, так как при прокладке медных проводов в трубах при $\cos\varphi = 0{,}8$ индуктивностью можно пренебречь для сечений до 35 мм² (см. табл. 81):

$$\Delta U\ \% = \frac{100Pl}{U^2 \gamma S} = \frac{100\sqrt{3}\, I_{расч} l \cos\varphi_н}{U\gamma S} =$$
$$= \frac{100 \cdot 1{,}73 \cdot 21{,}5 \cdot 12 \cdot 0{,}82}{380 \cdot 53 \cdot 4} = 0{,}45\ \%.$$

Пример 24. Выбрать плавкие предохранители для силовой сети напряжением $U_н = 380$ В механической мастерской, в которой установлено пять электродвигателей. Данные электродвигателей приведены в табл. 82.

В мастерской одновременно могут работать не более четырех электродвигателей. Одновременного пуска двух и более электродвигателей не бывает.

Расчетная нагрузка для двигателя № 1 соответствует номинальной ($K_с = 1$):

$P_{расч} = P_н = 10$ кВт.

Расчетный ток электродвигателя

$$I_{расч} = I_н = \frac{P_н 10^3}{\sqrt{3}\, U_н \cos\varphi_н \eta_н} = \frac{10 \cdot 10^3}{1{,}73 \cdot 380 \cdot 0{,}86 \cdot 0{,}82} =$$
$$= 21{,}5 \text{ А}.$$

82. Данные электродвигателей

№ п. п.	$P_н$, кВт	$I_н$, А	cos φ	η	$I_{пуск}/I_н = K_I$	$K_с$	$I_{расч}$, А
1	10,0	21,5	0,82	0,86	4,5	1,0	21,5
2	4,5	10,1	0,80	0,84	5,5	1,0	10,1
3	1,7	3,9	0,82	0,81	5,0	0,9	3,5
4	2,8	6,1	0,84	0,83	5,5	0,9	5,5
5	1,7	3,9	0,82	0,81	5,0	0,85	2,7

Пусковой ток электродвигателя

$I_{пуск} = K_I\, I_н = 4{,}5 \cdot 21{,}5 = 96{,}8$ А.

Ток плавкой вставки предохранителя

$I_{вст} = I_{пуск}/2{,}5 = 96{,}8/2{,}5 = 38{,}7$ А.

Выбираем плавкую вставку на номинальный ток $I_{н\ вст} = 45$ А.

Аналогично определяем расчетный и пусковой ток и выбор плавких вставок для остальных электродвигателей. Определение расчетных токов электродвигателей № 3, 4 и 5 производим с учетом коэффициентов спроса. Расчетный ток магистрали с учетом работы четырех наиболее крупных электродвигателей $I_{расч} = 40{,}6$ А, что соответствует току плавкой вставки $I_{вст} \geqslant I_{расч} = 40{,}6$ А.

Расчетный ток магистрали за вычетом тока электродвигателя № 1, имеющего наибольший пусковой ток,

$I'_{расч} = 40{,}6 - 21{,}5 = 19{,}1$ А.

Ток плавкой вставки магистрали

$$I_{вст} \geqslant \frac{I_{пуск} + I'_{расч}}{2{,}5} = \frac{96{,}8 + 19{,}1}{2{,}5} = \mathbf{47\ А.}$$

По большему из двух расчетных токов плавких вставок выбираем вставку с номинальным током $I_{н\ вст} = 60$ А. Выбранные плавкие вставки удовлетворяют условию селективности.

Пример 25. Определить нагрузку для алюминиевого провода АПР-500 сечением 6 мм² с резиновой изоляцией при открытой прокладке и прокладке трех проводов в одной трубе, $t = 40$ °С.

По табл. 76 находим длительно допустимую нагрузку на провод в нормальных условиях, которая при открытой прокладке равна 38 А, а при прокладке трех проводов в одной трубе — 32 А. С учетом температуры воздуха 40 °С и допускаемой температуры жилы провода 55 °С определяем новые допустимые нагрузки на провод с учетом поправочного коэффициента K_1 (табл. 78). При открытой прокладке $I_{доп} = K_1 \cdot 38 = 0{,}71 \cdot 38 = 27$ А, при прокладке трех проводов в одной трубе $I_{доп} = 0{,}71 \cdot 32 = 23$ А.

Глава VII

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ

Автоматическое управление электроприводами осуществляется посредством контакторов, магнитных пускателей и различных реле. Эти аппараты и их элементы (катушки, главные и вспомогательные контакты) электрически соединяются в общую схему, позволяющую осуществлять заданные операции в определенной последовательности.

Электрическая схема включает в себя десятки, а иногда и сотни отдельных элементов аппаратов и обеспечивает их электрическую взаимосвязь. Поэтому построение схемы производится по определенной системе. Так, силовые электрические цепи (статоров, роторов и якорей электродвигателей) на схеме показывают утолщенными линиями, а вспомогательные (цепи управления, защиты, блокировки и сигнализации) — тонкими.

Электрические двигатели, аппараты управления и их элементы на схеме изображаются условными графическими обозначениями, которые регламентируются соответствующими ГОСТами: электрические машины (электродвигатели) — ГОСТ 2.722—68, трансформаторы, дроссели, магнитные усилители — ГОСТ 2.723—68, коммутационные и контактные соединения — ГОСТ 2.755—74.

Условные обозначения элементов вычерчивают на схеме либо в положении, в котором они изображены в соответствующих стандартах, либо повернутыми (в направлении против часовой стрелки) на угол, кратный 90° по отношению к этому положению. В отдельных случаях допускается условное графическое обозначение поворота угла, кратного 45°.

Каждый элемент, изображенный на принципиальной схеме, должен иметь буквенно-цифровое позиционное обозначение. Буквы указывают назначение отдельных элементов: КнП — кнопка «Пуск»; КнС — кнопка «Стоп»; РВ — реле времени; КЛ — контактор линейный. Порядковые номера элементам присваивают начиная с единицы, на-

пример: C1, C2, C3; R1,R2, R3 и т. д. Различные элементы одного и того же аппарата обозначают одинаковыми буквами, указывающими обычно на функцию данного аппарата.

Коммутирующие аппараты на схемах показывают, как правило, в отключенном положении, т. е. при отсутствии тока в цепи и внешних сил, воздействующих на подвижные контакты. Все контакты аппаратов разделяются на замыкающие и размыкающие.

УПРАВЛЕНИЕ КОРОТКОЗАМКНУТЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ

Производственные механизмы приводятся в движение преимущественно асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями, что обусловлено простотой их устройства и обслуживания, а также высокой надежностью в работе.

Управление нереверсивным асинхронным двигателем. Простейшим примером схемы управления и защиты асинхронного короткозамкнутого электродвигателя может служить схема с магнитным пускателем (рис. 26). При нажатии кнопки «Пуск» подается команда на включение электродвигателя, кнопки «Стоп» — на отключение. В схеме предусмотрена защита электродвигателя от перегрузок электротепловыми реле T1 и T2 и от коротких замыканий — плавкими предохранителями Пр.

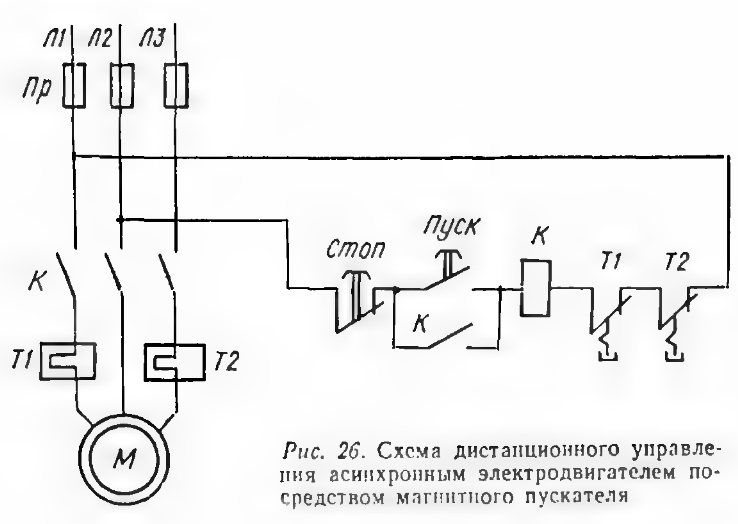


Рис. 26. Схема дистанционного управления асинхронным электродвигателем посредством магнитного пускателя

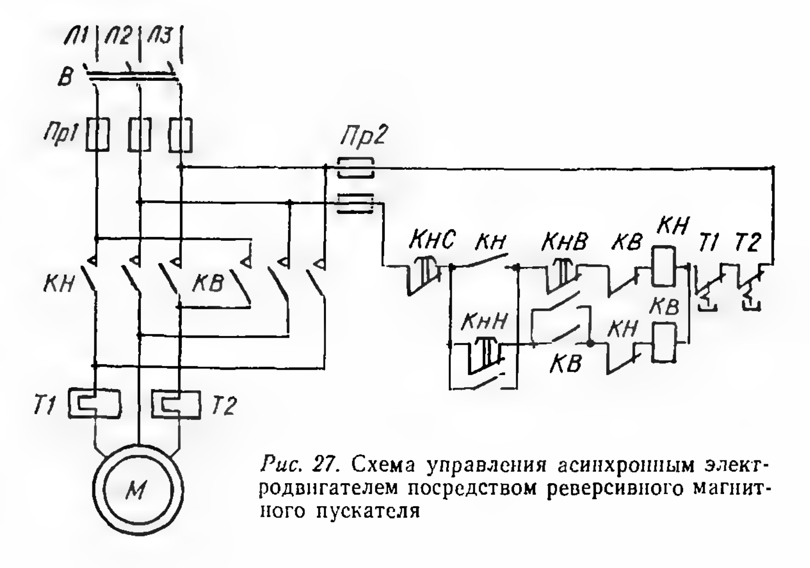


Рис. 27. Схема управления асинхронным электродвигателем посредством реверсивного магнитного пускателя

Управление реверсивным асинхронным двигателем. В схеме работы электродвигателя в реверсивном режиме (рис. 27) используется реверсивный магнитный пускатель, посредством которого осуществляются дистанционный пуск, остановка и реверсирование электродвигателя, а также защита от перегрева (реле Т1 и Т2) и нулевая защита (контакторы КВ и КН). Для защиты при коротком замыкании дополнительно устанавливаются плавкие предохранители Пр1 и Пр2. Напряжение на схему подается рубильником или пакетным выключателем В. Предохранители Пр1 и выключатель В могут быть заменены автоматическим воздушным выключателем (автоматом). Командными аппаратами в схеме являются кнопки управления КнВ, КнН и КнС, объединенные в одну кнопочную станцию. Если по условиям работы привода предусмотрен самозапуск электродвигателя, то кнопки заменяются ключом управления с тремя фиксированными положениями («Вперед», «Назад», «0»). Во избежание короткого замыкания при одновременном нажатии кнопок КнВ и КнН в подобных схемах предусматривается электрическая или механическая блокировка. Например, при нажатии кнопки КнВ срабатывает контактор КВ и своими блок-контактами разрывает цепь контактора КН.

Электрическая схема динамического торможения асинхронного электродвигателя. В схеме управления асинхронным короткозамкнутым электродвигателем с динамическим торможением (рис. 28, *а*) статор электродвигателя отключают от питающей сети переменного тока с помощью нереверсивного магнитного пускателя Л и подключают к сети постоянного тока посредством контактора торможения Т.

Пуск электродвигателя осуществляется нажатием кнопки «Пуск». При этом контактор Т отключен и, следовательно, его блок-контакт Т в цепи контактора Л замкнут. Одновременно с замыканием главных контактов контактора Л включаются два его замыкающих блок-контакта и размыкается блок-контакт в цепи катушки контактора Т. Один из замыкающих блок-контактов контактора Л шунтирует кнопку «Пуск», другой замыкает цепь обмотки реле времени В и подключает его к источнику постоянного тока. Реле В срабатывает мгновенно и замыкает свои контакты в цепи катушки контактора Т.

Для осуществления процесса торможения нажимают кнопку «Стоп». Контактор Л обесточивается и своими главными контактами Л отключает электродвигатель от сети. Размыкающий блок-контакт Л замыкается, контактор Т срабатывает и своими главными контактами включает постоянный ток в обмотку статора. С этого момента начинается процесс торможения. Одновременно замыкающий блок-контакт Л в цепи катушки реле времени В размыкается, и реле начинает отсчет выдержки времени. По истечении заданной выдержки контакты реле времени снова размыкаются и выключают контактор Т. В схеме предусматривается взаимная блокировка контакторов Л и Т, которая обеспечивается размыкающими блок-контактами Л и Т.

Аналогично идет процесс торможения при автоматическом срабатывании реле Т1 или Т2.

Электрическая схема торможения противовключением нереверсивного электродвигателя. Наиболее распространенным способом торможения асинхронных электродвигателей является торможение противовключением. На рис. 28,б приведена схема торможения противовключением с использованием реле контроля скорости РКС. При пуске электродвигателя реле замыкает свои контакты РКС в цепи контактора торможения Т, но цепь втягивающей катушки контактора Т разомкнута, так как в нее включен размыкающий блок-контакт контактора Л, который при работе электро-

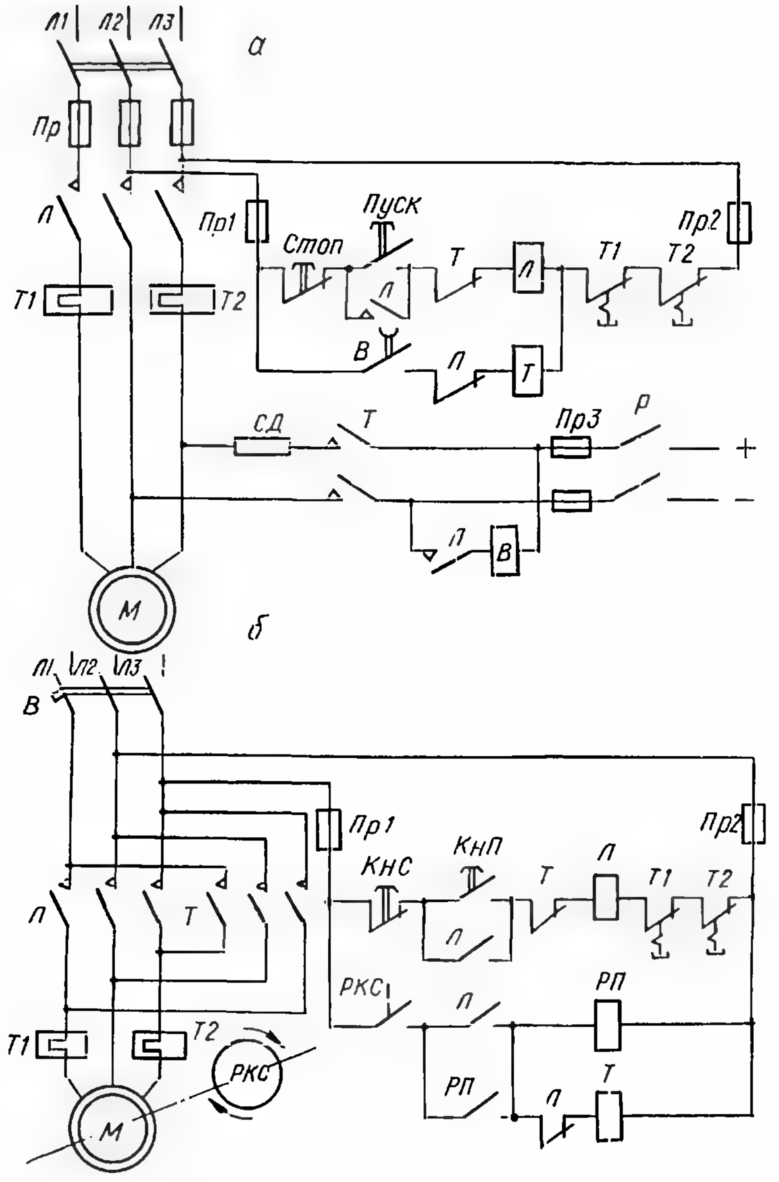


Рис. 28. Схема управления асинхронным короткозамкнутым электродвигателем с динамическим торможением *(а)* и с торможением противоключением *(б)*

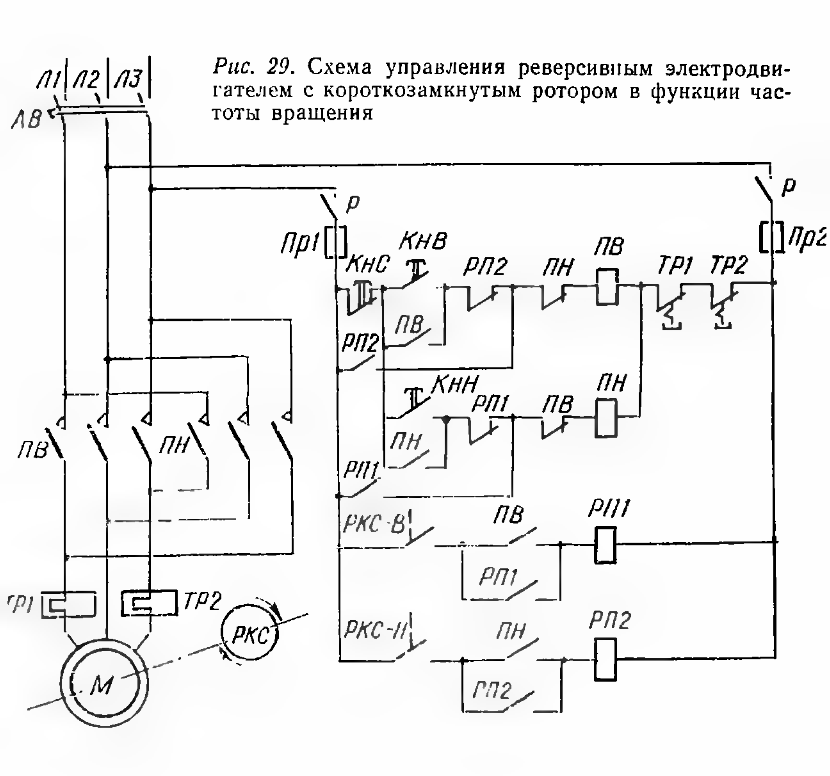


Рис. 29. Схема управления реверсивным электродвигателем с короткозамкнутым ротором в функции частоты вращения

двигателя разомкнут. После выключения контактора Л кнопкой КнС (или при срабатывании Т1 или Т2) блок-контакт Л в цепи контактора Т замыкается, контактор Т срабатывает и включает электродвигатель на реверс. Происходит интенсивное торможение, и когда скорость электродвигателя приблизится к нулю (50—100 об/мин), реле РКС разомкнет свои контакты и контактор Т отключится. Промежуточное реле РП предотвращает возможность аварийного (при случайном замыкании контактов РКС) пуска двигателя.

Управление реверсивным асинхронным короткозамкнутым электродвигателем в функции скорости. Командным аппаратом при этом способе пуска (рис. 29) является реле контроля скорости РКС с контактами РКС-В (вперед) и РКС-Н (назад). При нажатии кнопки КнВ магнитный пускатель ПВ (вперед) включает электродвигатель в сеть. Как только электродвигатель начнет вращаться, контакт РКС-В

замкнется, сработает промежуточное реле РП1 и своим замыкающим контактом подготовит к включению магнитный пускатель ПН (назад). При этом контакт ПВ, находящийся в его цепи, разомкнут.

При нажатии кнопки КнС магнитный пускатель ПВ отключает электродвигатель от сети и своим блок-контактом включает магнитный пускатель ПН на вращение электродвигателя в обратную сторону. Происходит торможение электродвигателя противовключением. При снижении частоты вращения до определенного значения, близкого к нулю, реле РКС размыкает замыкающий контакт РКС-В Магнитный пускатель ПН отключается и отключает электродвигатель от сети При нажатии кнопки КнН схема работает аналогично описанному. При этом роль тормозного магнитного пускателя выполняет магнитный пускатель ПВ, а управлять процессом торможения будут контакты РКС-Н реле контроля скорости РКС.

Согласование работы отдельных асинхронных электродвигателей. Примером согласования работы двух электродвигателей одной производственной машины является возможность пуска главного двигателя только после включения двигателя насоса смазки и автоматическое отключение главного двигателя при падении давления в системе смазки. При этом остановке привода должен предшествовать сигнал, предупреждающий обслуживающий персонал о нарушении работы системы смазки.

Схема, обеспечивающая такую блокировку, приведена на рис. 30. Здесь МГ — главный двигатель, МН — двигатель насоса смазки, РД — контакт реле давления масла в системе смазки. Включение контактора КГ главного двигателя возможно только после того, как будет включен контактор КН двигателя насоса, и при исправном реле давления РД. Контакт этого реле должен быть замкнут при достаточном давлении в системе смазки.

При снижении давления из-за неисправностей в системе смазки реле РД размыкает свой контакт, приходят в действие реле времени РВ и аварийная сигнализация (сигнальная лампа ЛС и звонок Зв), поскольку в соответствующих цепях замыкаются контакты промежуточного реле РП По истечении заданной выдержки времени размыкается контакт реле РВ, контактор КГ теряет питание, и двигатель МГ отключается. Одновременно прекращается действие сигнализации.

Рис 30 Схема согласования работы двух асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором

Рис 31 Схема управления асинхронным короткозамкнутым электродвигателем в функции времени

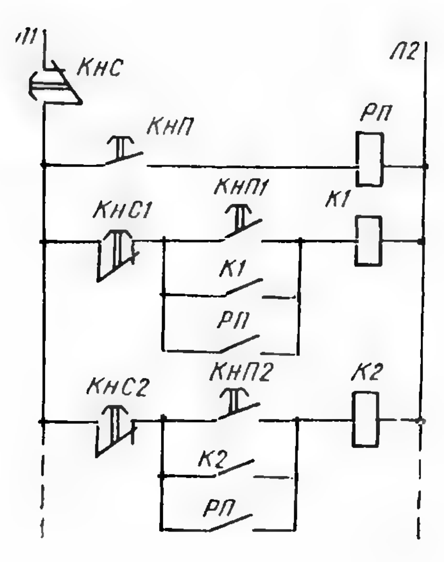


Рис. 32. Схема одновременного включения нескольких электродвигателей

Управление асинхронным короткозамкнутым электродвигателем в функции времени. Для автоматизации пуска электродвигателя в этом режиме (рис. 31) используют реле времени с определенной выдержкой. При нажатии кнопки КнП магнитный пускатель П своими главными контактами включает электродвигатель *М* через резисторы (сопротивления) *R*. Параллельно обмотке магнитного пускателя П включена обмотка реле времени РВ (реле ускорения). По истечении заданной выдержки времени контакт реле РВ замыкается и включает обмотку контактора ускорения КУ, главные контакты которого шунтируют сопротивление *R*, и двигатель включается на полное напряжение.

Схема одновременного включения нескольких электродвигателей. В электрических схемах металлорежущих станков часто предусматривается управление несколькими асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями при помощи одной кнопки. В этом случае используют многоконтактное промежуточное реле РП. На рис. 32 дана схема, в которой при нажатии на кнопку КнП происходит включение контакторов К1, К2 и т. д. и, следовательно, одновременный пуск ряда электродвигателей. Для одновременной остановки всех электродвигателей служит кнопка КнС. Схема предусматривает также возможность раздельного включения и отключения каждого электродвигателя соответственно кнопками КнП1 и КнС1, КнП2 и КнС2 и т. д.

Схема управления двухскоростным асинхронным короткозамкнутым электродвигателем. Электродвигатель имеет две статорные обмотки. Для пуска на первую скорость (рис. 33) необходимо включить рубильник Р и нажать кнопку «Пуск 1», что приведет к замыканию цепи катушки кон-

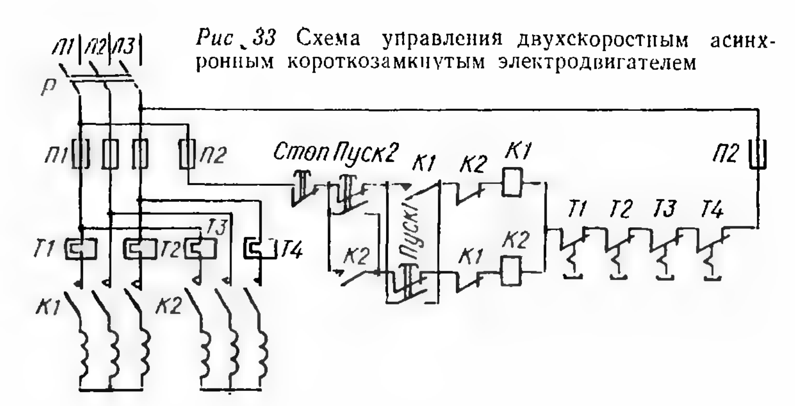


Рис. 33 Схема управления двухскоростным асинхронным короткозамкнутым электродвигателем

тактора К1. Главные контакты контактора К1 замкнутся и включат в сеть статорную обмотку первой скорости. Одновременно замыкаются блок-контакты контактора К1 и шунтируют кнопку «Пуск 1», а также размыкаются блок-контакты К1, включенные в цепь управления контактором К2 (блокировка против одновременного включения обоих контакторов).

Аналогично при нажатии кнопки «Пуск 2» происходит срабатывание контактора К2 и включение в сеть статорной обмотки второй скорости.

В схеме используются двухцепные пусковые кнопки, имеющие по одной паре замыкающих и размыкающих контактов.

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

Схема управления асинхронным электродвигателем с фазным ротором. При автоматическом пуске асинхронного электродвигателя с фазным ротором ввод сопротивления в цепь ротора и последующий вывод его по ступеням пуска осуществляется соответствующими реле. Для автоматизации пуска электродвигателя в функции тока (рис. 34) применяются токовые реле ускорения РУ1, РУ2 и РУ3, включенные в цепь ротора последовательно с пусковым резистором. При нажатии на кнопку «Пуск» главные контакты контактора К замыкаются и электродвигатель подключается к сети при полностью введенных пусковых резисторах в цепи ротора. Одновременно подается питание через блок-контакт К к катушке реле времени РВ с последующим замы-

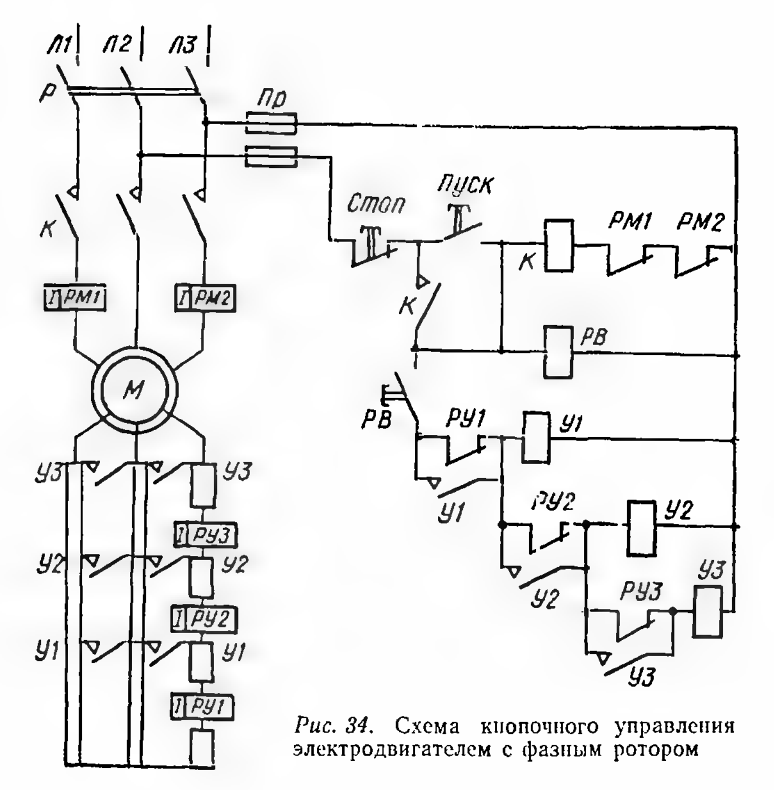


Рис. 34. Схема кнопочного управления электродвигателем с фазным ротором

канием его контактов. Этот же блок-контакт шунтирует кнопку «Пуск». В момент пуска контакты реле РУ1 размыкаются и после снижения пускового тока до значения тока уставки реле РУI (тока переключения) снова замыкаются. Вследствие этого срабатывает контактор ускорения первой ступени УI и его контакты шунтируют первую ступень пускового резистора. В результате происходит новый бросок тока в роторе, который задерживает замыкание контактора ускорения следующей ступени У2, так как контакты реле ускорения У2 размыкаются. После снижения броска тока до значения тока переключения второй ступени контакты реле РУ2 замкнутся и включат контактор ускорения второй ступени. Замыкающие контакты контактора У2 зашунтируют вторую ступень пускового резистора, что вызовет новый бросок роторного тока. Аналогично закорачивается и последняя ступень.

В схеме предусмотрено шунтирование размыкающих контактов реле ускорения РУ1, РУ2, РУ3 соответствующими блок-контактами контакторов ускорения У1, У2, У3 ввиду возможности вибрации контактов реле ускорения при бросках роторного тока. Реле времени РВ обеспечивает некоторую выдержку, чтобы ток в цепи ротора достиг значения, при котором все реле ускорения открывают свои размыкающие контакты. Защита электродвигателя от перегрузки и короткого замыкания осуществляется при помощи реле максимального тока РМ1 и РМ2.

Схема контакторного управления реверсивным электродвигателем с фазным ротором. Управление электродвигателем осуществляется при помощи командоконтроллера. Схема (рис. 35) обеспечивает управление пуском с тремя ступенями сопротивления и торможения методом противовключения. Для управления пуском применяют реле времени, для управления торможением — реле тока.

В исходном (нулевом) положении командоконтроллера замыкается контакт КО, срабатывает реле напряжения РН и своими контактами РН блокирует блок-контакт командоконтроллера.

При переводе рукоятки командоконтроллера из нулевого положения в положение I (вперед или назад) замыкается контакт К1 или К2, включается соответствующий контактор КВ или КН, через главные контакты которого электродвигатель включается в сеть, а через замыкающие блок-контакты — на катушку блокировочного реле Б. После замыкания замыкающих контактов этого реле и перевода рукоятки командоконтроллера в положение 2 замыкается контакт К3 и подается питание на катушку контактора противовключения П, если размыкающие контакты реле противовключения РП замкнуты.

Реле РП настраивается так, чтобы его ток срабатывания был выше максимального пускового тока. После срабатывания контактора П его замыкающие контакты мгновенного действия закорачивают тормозную часть сопротивлений, а блок-контакты, работающие с выдержкой времени, замыкают цепь катушки контактора У1 первой ступени ускорения.

При дальнейшем перемещении рукоятки командоконтроллера в положение 3, 4, 5 закорачиваются последовательно с определенной выдержкой времени первая, вторая и третья ступени пускового резистора. После замыкания

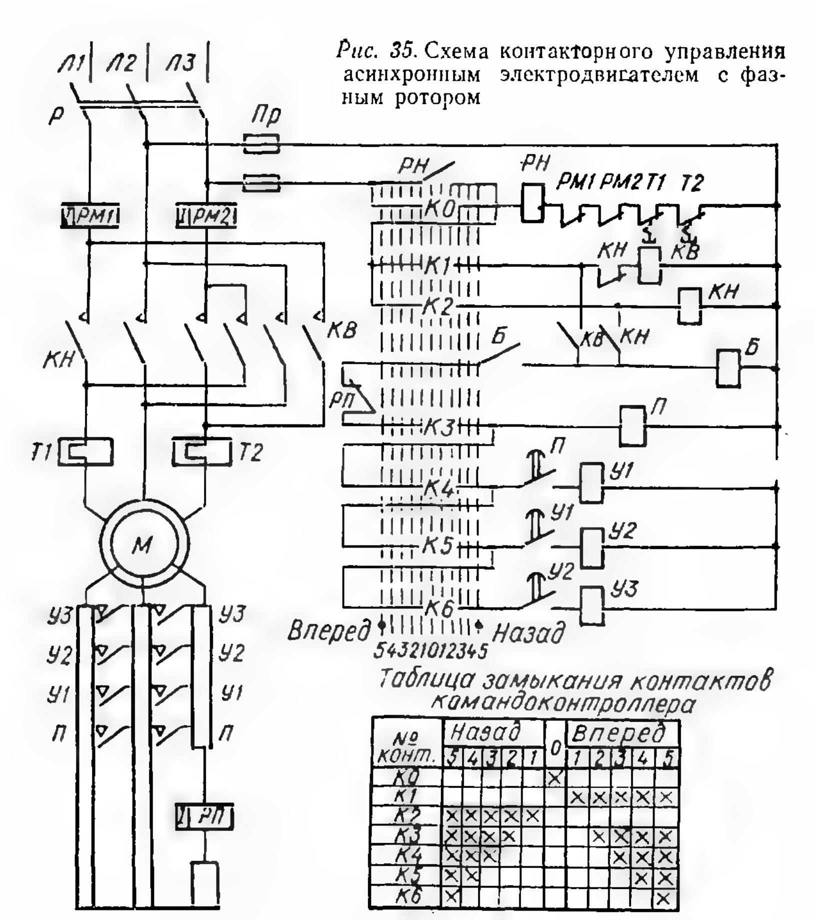


Рис. 35. Схема контакторного управления асинхронным электродвигателем с фазным ротором

Таблица замыкания контактов командоконтроллера

№ конт.	Назад 5	4	3	2	1	0	Вперед 1	2	3	4	5
К0						×					
К1							×	×	×	×	×
К2	×	×	×	×	×						
К3	×	×	×	×				×	×	×	×
К4	×	×	×						×	×	×
К5	×	×								×	×
К6	×										×

контактов контактора У3 пуск электродвигателя заканчивается.

Реверсирование электродвигателя осуществляется переводом командоконтроллера в противоположное положение. При этом размыкается цепь контактора КВ и замыкается цепь контактора КН. Реверсирование электродвигателя сопровождается режимом противовключения. В результате по цепи ротора (и реле РП) будет проходить ток противовключения, который больше пускового. Реле РП разомкнет свои контакты, вследствие чего цепь контактора противовключения П не получит питания до тех пор, пока ток противовключения не снизится до значения пускового. Таким

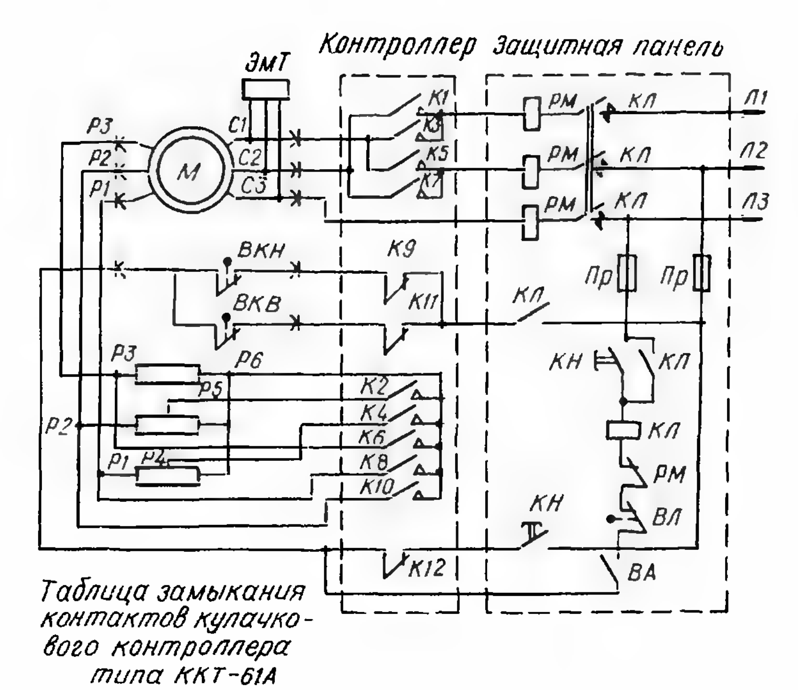


Таблица замыкания контактов кулачкового контроллера типа ККТ-61А

Контакт	Назад Спуск					0	Вперед Подъем				
	5	4	3	2	1		1	2	3	4	5
К1	X	X	X	X	X						
К2	X	X	X	X				X	X	X	X
К3							X	X	X	X	X
К4	X	X	X						X	X	X
К5	X	X	X	X	X						
К6	X	X								X	X
К7							X	X	X	X	X
К8	X										X
К9	X	X	X	X	X	X					
К10	X										X
К11						X	X	X	X	X	X
К12						X					

Рис. 36. Контроллерное управление крановым электродвигателем с фазным ротором

образом, пусковая ступень резистора не может быть выведена раньше времени.

Электромагнитное реле напряжения обеспечивает минимальную и нулевую защиту электродвигателя. При резком снижении напряжения или полном его исчезновении реле срабатывает, отключается вся цепь управления и электродвигатель останавливается. Защита электродвигателя М от коротких замыканий осуществляется посредством реле максимального тока РМ1 и РМ2, а от перегрузки — электротепловыми реле Т1 и Т2. Для последующего включения электродвигателя рукоятку командоконтроллера следует установить снова в исходное положение.

Таблица замыкания контактов командоконтроллера при повороте его рукоятки приведена на рис. 35.

Электрическая схема контроллерного управления асинхронным электродвигателем с фазным ротором. Управление электродвигателем (рис. 36) осуществляется посредством кулачкового контроллера типа ККТ-61А. Одна фаза Л3 питающей сети подводится к статору электродвигателя помимо контроллера, а две фазы Л1 и Л2 — через контроллер. Контакты К1, К3, К5, К7 контроллера включают статор электродвигателя в сеть при полностью введенных сопротивлениях в цепи ротора и осуществляют реверсирование электродвигателя: в первом положении рукоятки контроллера «Вперед» замыкаются контакты К3 и К7, а в первом положении «Назад» — контакты К1 и К5 (меняется порядок чередования фаз). Одновременно со статором двигателя в сеть включается тормозной электромагнит ЭмТ, растормаживающий механизм. Показанный на схеме троллейный токоподвод применяется, как правило, только для привода подъема.

При дальнейшем перемещении рукоятки контроллера в положения 2, 3, 4, 5 «вперед» или «назад» выводятся (шунтируются) ступени пусковых резисторов посредством контактов К2, К4, К6, К8, К10 контроллера. Резисторы в роторной цепи выводятся несимметрично, что позволяет уменьшить число переключающих контактов контроллера при требуемом числе пускорегулировочных ступеней и получить механические характеристики, обеспечивающие требуемый режим работы механизма. С помощью контактов К9, К11, К12 контроллера создаются цепи конечной и нулевой защиты. На схеме показаны контакты путевых (конечных) выключателей ВКВ и ВКН; контакт люка кабины ВЛ; ава-

рийный выключатель ВА; кнопка включения Кн. После перерыва в электроснабжении пуск электродвигателя возможен в том случае, если рукоятка контроллера будет предварительно поставлена в нулевое положение, в котором замкнуты контакты К9, К11, К12. При этом может включиться линейный контактор КЛ и подать напряжение на силовые цепи.

Контакты максимально-токовых блок-реле РМ действуют на отключение контактора КЛ.

Глава VIII

НЕИСПРАВНОСТИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И ИХ УСТРАНЕНИЕ

При эксплуатации электродвигателей могут возникнуть различные неисправности как в подводящей сети, так и в самом двигателе.

Характерными неисправностями подводящей сети являются: обрыв цепи; пониженное или повышенное напряжение; несимметричное напряжение.

Наиболее часто обрыв электрических цепей происходит из-за сгорания плавкой вставки предохранителя или обрыва проводов. При этом двигатель при пуске не разгоняется, гудит, а при толчке извне разгоняется до номинальной скорости в ту сторону, в которую был направлен толчок. В этом режиме двигатель теряет $^1/_3$ номинальной мощности, и если он работал при полной нагрузке, то при обрыве провода снижает частоту вращения и потребляет ток, больший номинального Поэтому статор двигателя перегревается, что может стать причиной сгорания изоляции обмотки.

Напряжение, пониженное относительно номинального, вызывает резкое снижение пускового, номинального и максимального моментов, так как они пропорциональны квадрату приложенного напряжения ($M = cU^2$). В этом случае при пуске под нагрузкой двигатель разгоняется медленно или не запускается совсем. При работе он вращается с пониженной скоростью и потребляет повышенный ток, а при толчках нагрузки может остановиться. Повышенный потребляемый ток вызывает дополнительный нагрев двигателя и, следовательно, преждевременный износ изоляции. В этом случае необходимо переключить ступень питающего трансформатора или увеличить сечение подводящих проводов.

Повышенное напряжение вызывает увеличение магнитных нагрузок стали двигателя, что приводит к резкому возрастанию тока холостого хода, снижению cos φ за счет повышенного потребления реактивной энергии, увеличе-

нию потерь в стали и ее нагрев. Уменьшить напряжение питающей сети можно путем переключения ответвлений трансформатора.

Несимметричное напряжение возникает при неправильном распределении между фазами однофазных нагрузок (сварочные аппараты, нагревательные приборы). Это вызывает появление в двигателе обратного вращающегося поля, создающего тормозной момент. В результате уменьшается частота вращения двигателя, он начинает потреблять повышенный ток, неодинаковый по фазам. Это ведет к перегреву двигателя и преждевременному износу изоляции. Возникшую несимметрию устраняют перераспределением однофазных нагрузок.

Встречаются электрические неисправности в обмотках статора и ротора электродвигателя (короткое замыкание в обмотках, обрывы и замыкание обмоток на корпус), неисправности магнитной цепи, а также механические неисправности.

Неисправности электрического двигателя могут быть выявлены как во время пуска его в ход, так и во время работы.

НЕКОТОРЫЕ НЕИСПРАВНОСТИ, ОБНАРУЖИВАЕМЫЕ ПРИ ПУСКЕ ДВИГАТЕЛЯ

Двигатель не разгоняется или вращается ненормально. Произошло заклинивание приводимого механизма (станка, крана), или механизм (мельница, мешалка) чрезмерно загружен. Чтобы убедиться, что двигатель при пуске не разгоняется из-за перегрузки, необходимо пустить его без приводного механизма.

В самом двигателе может произойти задевание статора ротором, повреждение подшипников, перекос при затяжке подшипниковых щитов.

Признаком, подтверждающим механические причины неисправности двигателя, является одинаковый ток во всех трех фазах статора.

Электрическими причинами данной неисправности являются обрывы в питающей сети, пусковой и защитной аппаратуре, а также внутренний обрыв в одной фазе обмотки статора, соединенной звездой, или обрыв в двух или трех фазах роторной цепи двигателя с контактными кольцами.

Для выявления причины неисправности необходимо в пер-

вую очередь проверить целостность предохранителей и проводки к статору и ротору двигателя, а также исправность включающей аппаратуры.

Наличие обрывов в цепи статора может быть определено при помощи вольтметра или мегомметра.

При обрыве в одной фазе сети или внутреннем обрыве в статорной обмотке, соединенной звездой, двигатель, если его первоначально повернуть рукой, будет работать толчками и ненормально гудеть. Если же обрыв в фазе произошел во время работы, то двигатель может продолжать работать, но его частота вращения при номинальной нагрузке понижается, а ток значительно повышается, что может вызвать перегрев и повреждение обмоток двигателя.

При обрыве одной фазы обмотки статора, соединенной треугольником, образуется вращающееся магнитное поле, и двигатель разворачивается. Но так как работают две фазы, то мощность двигателя снижается до $^2/_3$ номинальной. Это приводит к увеличенному нагреву (в случае полной нагрузки) и может быть причиной сгорания изоляции всей обмотки статора.

Фазу, имеющую обрыв, можно найти при помощи мегомметра. В этом случае разъединяют общие точки обмотки и измеряют сопротивление каждой фазы мегомметром. При измерениях на выводах фаз, не имеющих обрывов, мегомметр покажет нуль, а на зажимах фазы, имеющей обрыв,— большую величину.

Двигатель плохо разгоняется, развивает малый вращающий момент и сильно гудит. Возможны ошибки в соединениях обмотки: неправильное соединение начала и концов; соединение обмотки, не соответствующее напряжению в сети; обратное соединение катушек. Это чаще всего наблюдается у электродвигателей, имеющих шесть выводов для соединения их звездой или треугольником, при работе, например, на напряжении 220/380 В, а также у многоскоростных двигателей.

При неправильном соединении выводных концов обмотки величина тока в фазах различна, а при холостом ходе превышает номинальную.

Указанная неисправность может также возникнуть в случае, если двигатель с короткозамкнутым ротором запускается путем переключения обмотки статора на время пуска с треугольника на звезду посредством переключателя.

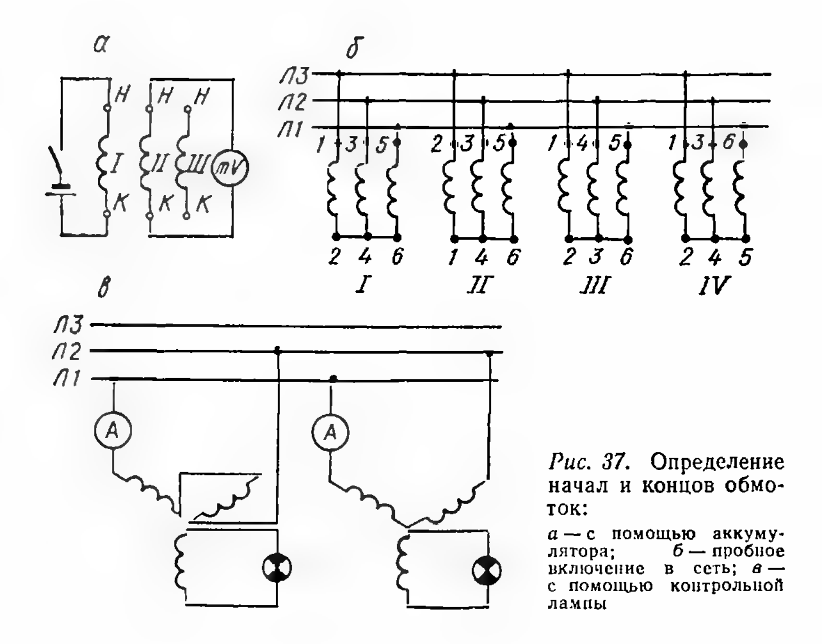


Рис. 37. Определение начал и концов обмоток:

а — с помощью аккумулятора; *б* — пробное включение в сеть; *в* — с помощью контрольной лампы

Для правильного соединения обмотки необходимо установить правильную маркировку ее концов. Для этого мегомметром или контрольной лампой определяют принадлежность концов к фазам и предварительно их обозначают. Затем проверяют и определяют начало и конец фазы опытным путем, для чего существует несколько способов.

В первом случае одну из фав (рис. 37, *а*) подключают к аккумулятору напряжением 2—6 В; при этом начало Н подключают к плюсу, а конец К — к минусу. К другой фазе подключают милливольтметр. При включении рубильника возникает поток, который индуктирует ЭДС во второй фазе определенного направления; при этом Н соответствует минусу, а К — плюсу. При выключении рубильника поток исчезает и также индуктирует ЭДС, но обратного направления: Н соответствует плюсу, К — минусу. Правильность предварительного обозначения проверяют по отклонению стрелки милливольтметра.

Во втором случае концы обмоток обозначают пофазно цифрами 1, 2, 3, 4, 5, 6; цифры 2, 4, 6 считают концами и соединяют в нулевую точку, а цифры 1, 3, 5 принимают за начала и включают в сеть (рис. 37, *б*). Если двигатель нор-

мально не разгоняется и гудит, значит, включение неправильное, и соединяют по-иному, т. е. 1, 4, 6 — в нулевую точку, а 2, 3, 5— в сеть. Если и при новом соединении двигатель влючен неправильно,то восстанавливают положение первой фазы, а меняют включение второй, т. е 2, 3, 6 соединяют в нулевую точку, а 1, 4, 5—в сеть. Если вновь двигатель включен неправильно, то восстанавливают положение второй фазы и меняют включение третьей, т. е. 2, 4, 5 — в нулевую точку, 1, 3, 6 — в сеть.

В третьем случае правильность сопряжения фаз устанавливают с помощью вольтметра или контрольной лампы. Для этого одну фазу отсоединяют и в нее включают вольтметр или контрольную лампу (рис. 37, *в*). Две другие фазы включают в сеть на пониженное напряжение (0,2—0,35 $U_н$).

Если две фазы включены разноименными концами, то в третьей будет индуктироваться ЭДС, равная примерно 50 % подведенного напряжения. Если же эти фазы включены одноименными концами, то в третьей фазе напряжение

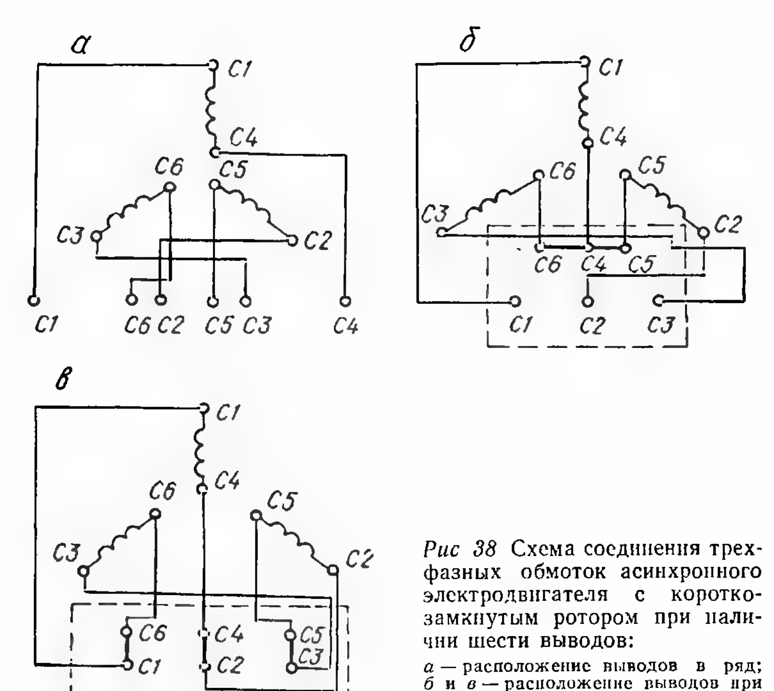


Рис 38 Схема соединения трехфазных обмоток асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором при наличии шести выводов:

а — расположение выводов в ряд; *б* и *в* — расположение выводов при соединении звездой и треугольником

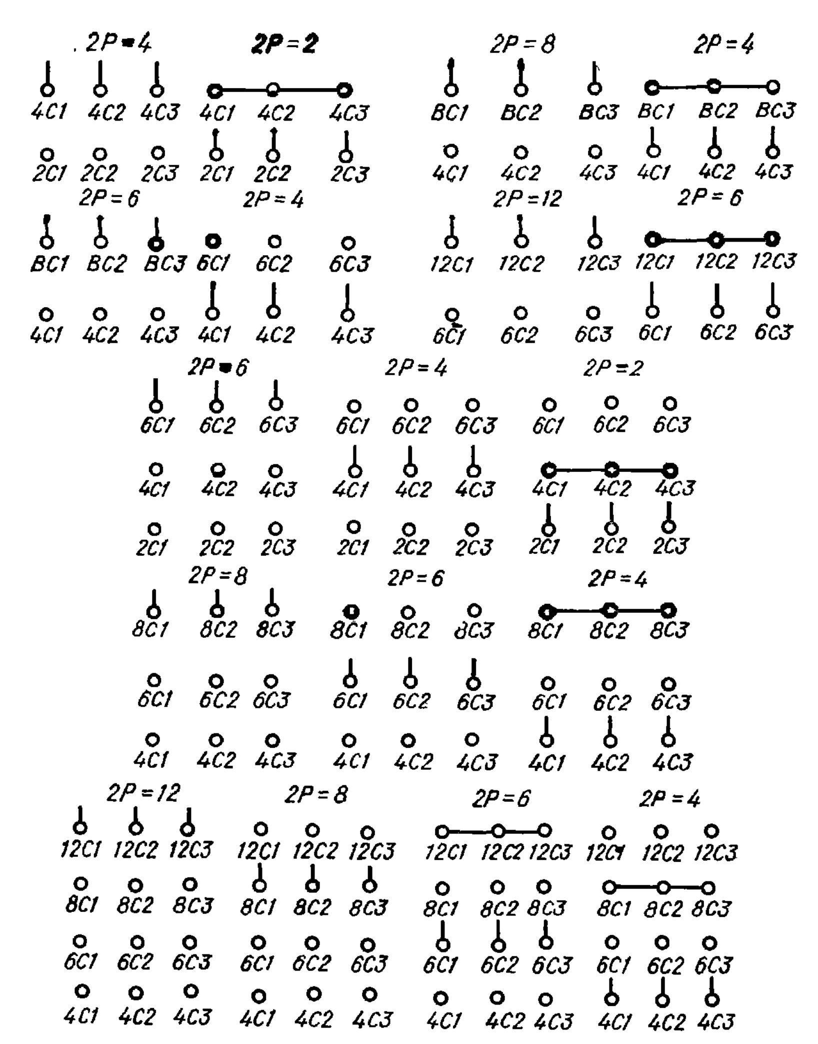


Рис 39. Схемы соединения обмоток многоскоростных асинхронных электродвигателей на две, три и четыре частоты вращения

будет отсутствовать. После того как определены одноименные выводы двух фаз, определяют выводы третьей фазы. Для этого одну из фаз, выводы которой определены, соединяют последовательно с третьей фазой и повторяют опыт.

Схема соединения трехфазных обмоток односкоростного

асинхронного двигателя при наличии шести выводов показана на рис. 38.

Для получения необходимых сочетаний чисел полюсов многоскоростных асинхронных двигателей, обеспечивающих требуемую комбинацию частот вращения (от 500 до 3000 об/мин), двигатели имеют специальные схемы обмотки (рис. 39).

При включении двигатель отключается вследствие срабатывания защиты или перегорания предохранителей. Причиной этого может быть: перегрузка двигателя; неисправность приводимого механизма; короткое замыкание в цепи двигателя; пуск при рабочем (а не пусковом) положении механизма; переход от одной ступени пускового сопротивления к другой в процессе пуска совершается слишком быстро, до спадания тока; пуск двигателя с фазным ротором произведен с закороченным пусковым сопротивлением.

Двигатель с фазным ротором при пуске вращается с уменьшенной вдвое скоростью и сильно гудит. Причиной неисправности является обрыв в одной фазе роторной цепи (внутри обмотки, в одном из проводов, соединяющих щетки с пусковым сопротивлением, в самом пусковом сопротивлении).

Двигатель с фазным ротором разворачивается при разомкнутой цепи ротора. Причина — короткое замыкание в обмотке ротора. В этом случае при пуске с нагрузкой двигатель медленно разворачивается, а обмотка ротора сильно нагревается. Нагрев обмотки объясняется тем, что в замкнутых накоротко витках вращающимся полем статора наводится ЭДС и протекает значительный ток.

Двигатель вращается, но частота вращения его ниже номинальной при номинальной нагрузке. Это происходит при пониженном напряжении на зажимах статора; соединении обмотки статора звездой вместо соединения треугольником; большом сопротивлении или плохом контакте в цепи ротора.

НЕИСПРАВНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ, ОБНАРУЖИВАЕМЫЕ ВО ВРЕМЯ ЕГО РАБОТЫ

В обмотке статора наблюдается сильный местный нагрев, что сопровождается гудением и резким снижением частоты вращения двигателя, при этом ток в фазах неодинаков. В этом случае возможны: замыкание между вит-

ками в одной фазе обмотки статора; короткое замыкание между двумя фазами обмотки статора; замыкание обмотки на корпус в двух местах; неправильное присоединение выводов одной фазы.

В обмотках при коротких замыканиях образуются замкнутые контуры, в которых наводится ЭДС вращающимся магнитным потоком и, следовательно, в этих контурах могут циркулировать большие токи, вызывающие нагрев, расплавление паек и обугливание изоляции, а при длительной работе двигателя могут нанести повреждение и активной стали.

Замыкание обмоток на корпус может произойти при пробое изоляции. В этом случае рассоединяют обмотку и мегомметром определяют поврежденную фазу, присоединяя один конец его к корпусу, а второй поочередно к фазам. При определении места повреждения рекомендуется пошевелить обмотку у подозрительных мест. Это создает изменение контакта, а следовательно, и изменение сопротивления. Если обнаружить место повреждения не удается, можно прибегнуть к «прожиганию». Один конец фазы присоединяют через предохранитель на 30—40 А к корпусу, второй — к сети. При прохождении тока по обмоткам из места замыкания появляется дым.

Сильный местный нагрев активной стали статора при холостом ходе двигателя и при номинальном напряжении сети является следствием нарушения изоляции между ее отдельными листами, которое может возникнуть при задевании ротором статора или при оплавлении стали в местах повреждения обмотки пробоем на корпус. Места оплавления следует вырубить, зачистить напильником, не оставляя заусенцев, и между отдельными листами стали проложить тонкий электрокартон, покрытый лаком. При большом количестве поврежденных зубцов необходимо производить полную перешихтовку стали.

Общий перегрев активной стали при работе двигателя с нагрузкой происходит от увеличения магнитной индукции в стали из-за неправильного включения двигателя или питания его током с повышенным напряжением. При этом увеличивается потребление двигателем реактивного тока и снижается его cos φ.

Неправильное включение двигателя в сеть имеет место в тех случаях, когда для данного напряжения предусмотрено включение обмотки статора в звезду, а ее соединяют в треугольник. Это приводит к резкому увеличению тока холос-

того хода, появлению магнитного шума и нагрева стали. Повышенное напряжение на зажимах двигателя следует снизить соответствующим переключением ответвления трансформатора.

Причиной увеличения магнитной индукции в стали у двигателей, прошедших ремонт, может быть недостаточное количество витков в обмотке фазы, неправильное соединение катушечных групп с увеличением числа параллельных ветвей или недостаточное количество витков в катушках. Такой двигатель к эксплуатации непригоден и требует устранения дефектов.

Обмотки и активная сталь двигателя равномерно и сильно нагреваются. Такое явление может наблюдаться при значительной перегрузке двигателя; засорении вентиляционных путей; эксплуатации электродвигателей, предназначенных для кратковременного или повторно-кратковременного режима работы, с относительной продолжительностью включения, превышающей номинальную. При перегрузке двигателя возрастает потребляемый им из сети ток, что вызывает повышенный нагрев обмотки (нагрев пропорционален квадрату тока) и в результате перегрев активной стали.

Засорение вентиляционных путей двигателя часто наблюдается на текстильных, цементных, деревообделочных и других предприятиях. В этом случае необходимо очистить двигатель и продуть его сжатым воздухом.

Контакты на зажимах двигателя сильно нагреваются. Это свидетельствует о слабой затяжке гаек контактных болтов или малой их площади сечения. Для устранения этой неисправности рекомендуется на контактных болтах применять контргайки, пружинящие шайбы и другие устройства, способствующие сохранению контакта. В случае необходимости следует применять контактные болты с большой площадью сечения.

Контактные кольца и щетки перегреваются. Причина — либо слишком сильное нажатие щеток на контактные кольца, либо слабая вентиляция контактных колец и щеток.

Щетки сильно искрят и обгорают контактные кольца двигателя с фазным ротором. Это является следствием загрязнения контактных колец и щеток; слабого нажатия щеток (в этом случае следует отрегулировать величину нажатия щеток в соответствии с их маркой); плохой пришлифовки щеток или биением контактных колец (устраняется путем проточки и шлифовки); неравномерного распределения

тока между отдельными щетками (необходимо проверить все контакты траверсы, токоподводов, щеткодержателей и щеток, отрегулировать величину нажатия щеток в соответствии с их маркой); несоответствия марки щеток данному электродвигателю.

Щетки и контактные кольца быстро изнашиваются. Основными причинами этого являются: неравномерное распределение тока между отдельными щетками; сильное нажатие щеток на контактные кольца; большая плотность тока в щетках; неровная поверхность или загрязнение контактных колец; искрение щеток; выбрация ротора.

Ротор задевает статор. Признаками этого являются: вибрация двигателя, которая сопровождается характерным шумом; появление дыма, запаха гари и искр. Причина заключается в нарушении величины зазора между ротором и статором из-за износа подшипников, смещения подшипниковых щитов. При повреждении подшипников качения происходит оседание ротора, что является непосредственной причиной задевания статора ротором.

Ненормальная работа подшипника может быть вызвана неправильной посадкой, перекосами, зажатием шариков, отсутствием смазки.

Во избежание проникновения в подшипники абразивной пыли и влаги все промежутки между вращающимися и неподвижными деталями уплотнений должны тщательно заполняться смазкой.

Вибрация двигателя. Повышенные вибрации могут возникнуть по причинам механического или электромагнитного характера. К механическим причинам относятся: неуравновешенность вращающихся частей (ротора, муфты, шкива); нарушение центровки агрегата при соединении электродвигателя с приводимым механизмом при помощи муфты; ослабление посадки вращающихся частей на валу (ротора, шкива, полумуфты); искривление вала; недостаточно прочное закрепление двигателя на фундаменте, ослабление затяжки болтов, крепящих подшипниковые щиты к корпусу; колебания фундамента или металлической конструкции, на которой установлен двигатель, вследствие вибрации соседних двигателей.

Электромагнитными причинами вибрации двигателя являются неправильно выполненные соединения в обмотке статора; короткое замыкание в обмотке фазного ротора; обрыв или плохой контакт в обмотке ротора.

Чтобы установить причину вибрации, необходимо тщательно обследовать двигатель. Если вибрация после отключения двигателя исчезает немедленно, то причиной ее является биение стали ротора или короткое замыкание в обмотке фазного ротора. Если во время работы двигателя величина тока во всех фазах различна и двигатель сильно гудит, а после отключения вибрация исчезает, то причиной ее является неправильное соединение в обмотке статора. Если же после отключения двигателя вибрация продолжается и исчезает только после значительного снижения частоты его вращения, а ток во всех фазах до отключения одинаков, то вибрация является следствием механических причин.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ИХ МОНТАЖЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

Технический уровень производства в любой отрасли в значительной мере определяется надежностью работы и долговечностью электроустановок. Надежность электроустановок в целом зависит от надежности помещенных в них электрических устройств, электрических сетей и правильной эксплуатации.

Основная роль в электротехнических устройствах отводится электродвигателям.

К наиболее часто встречающимся неисправностям, вызываемым неудовлетворительным изготовлением и ремонтом электродвигателей, относятся: для обмоток статоров — ослабление крепления секций, увлажнение изоляции (с последующим замыканием витков), ослабление пазовых клиньев с последующим их выпадением в воздушный зазор; для обмоток роторов — обрыв стержней в пазах и в месте припайки их к кольцам короткозамкнутого ротора. Кроме того, значительное число отказов электродвигателей вызвано плохой пропиткой их обмоток, что приводит к ухудшению электрических и механических характеристик изоляции и снижению ее нагревостойкости и теплопроводности.

При эксплуатации электродвигателей часто происходят отказы в результате попадания внутрь масла и воды, загрязнения обмоток пылью, попадания предметов на обмотки, перегрузки по току, плохой балансировки ро-

тора после ремонта, неудовлетворительной токовой и тепловой защиты. Нередко из-за чрезмерно плотной набивки подшипников смазкой происходит их перегрев и смазка вытекает из узла на обмотку. Смазка не должна превышать $^2/_3$ свободного объема узла, а в скоростных подшипниках — половины или трети его объема. На надежность подшипниковых узлов электродвигателей влияет также рациональный выбор смазочных материалов в зависимости от конкретных условий эксплуатации.

Отказы частей электродвигателей характеризуются следующими данными: обмотка (65—80 %), подшипниковый узел (около 13 %), вводное устройство (7—22 %) и др.

Для обеспечения надежности при монтаже асинхронных электродвигателей электрические и механические параметры их должны соответствовать параметрам производственных механизмов, а исполнение электродвигателей — условиям окружающей среды.

Электродвигатели и их коммутационные аппараты должны выбираться с таким расчетом, чтобы их температура нагрева при работе не превышала допустимых значений. Их следует устанавливать таким образом, чтобы исключалась возможность попадания на их обмотки и токосъемные устройства воды, масла, эмульсии, а вибрация оборудования, фундаментов и частей зданий не превышала допустимых значений.

При приемке электродвигателей необходимо определить их общее состояние без дополнительной разборки, измерить сопротивление изоляции обмоток, траверс, изолированных подшипников и других изолированных частей мегомметром на соответствующее напряжение.

Качество монтажа электродвигателей предъявляет определенные требования к фундаментам, подшипникам скольжения и качения, валам электродвигателей, воздушным зазорам между статором и ротором.

В процессе эксплуатации необходимо систематически производить технический осмотр электродвигателей. Периодичность осмотров устанавливается в зависимости от местных условий, но не реже одного раза в 2 месяца.

Требуют тщательного наблюдения и ухода подшипники и другие активные элементы электродвигателей. Температура их не должна превышать допустимых пределов Сорт масла для подшипников должен соответ-

ствовать техническим условиям на данный тип машины.

Плавкие вставки предохранителей должны быть калиброваны с указанием их номинальных токов.

Выключатели, контакторы, магнитные пускатели, рубильники, пускорегулирующие устройства, а также предохранители должны иметь надписи, указывающие, к какой электрической машине они относятся.

Аварийное отключение электродвигателя от сети осуществляется в следующих случаях: при появлении дыма или огня из электродвигателя или его пускорегулирующей аппаратуры; вибрации сверх допустимых норм, угрожающей целостности электродвигателя; поломке приводного механизма; нагреве подшипника сверх допустимой температуры, значительном снижении частоты вращения, сопровождающемся быстрым нагревом электродвигателя; несчастном случае (или угрозе возникновения его).

Периодичность ремонтов электродвигателей устанавливается главным энергетиком предприятия в зависимости от местных условий.

Текущий ремонт и обдувка электродвигателей должны, как правило, производиться одновременно с ремонтом приводимых механизмов. Капитальный ремонт электродвигателей ответственных механизмов, работающих в тяжелых температурных условиях и при загрязненности окружающей среды, должен производиться не реже одного раза в 2 года.

ПРИЛОЖЕНИЕ

АСИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ЕДИНОЙ СЕРИИ 4А И ИХ МОДИФИКАЦИИ

Электродвигатели основного исполнения. Единая серия 4А охватывает диапазон мощностей от 0,06 до 400 кВт и высоты оси вращения от 50 до 355 мм.

По степени защиты электродвигатели изготовляются в двух исполнениях: IP44 — закрытое обдуваемое и IP23 — защищенное. Электродвигатели IP23 выпускаются только в основном исполнении.

Электродвигатели изготовляются на номинальные напряжения согласно табл. 83 и частоту сети 50 Гц (60 Гц — по заказу потребителя).

83. Номинальные напряжения электродвигателей серии 4А

$P_н$, кВт	$U_н$, В	Схема соединения	Число выводных концов
От 0,06 до 0,37	220 и 380	Δ или Y	3
» 0,55 » 11	220, 380 и 660		
» 15 » 110	220/380 и 380/660	Δ/Y	6
» 132 » 400	380/660		

Исполнение электродвигателей по способу монтажа отвечает требованиям ГОСТ 19523—74 и 2479—65.

Структура условных обозначений электродвигателей (табл. 84, 85): 4 — порядковый номер серии; А — вид электродвигателя (асинхронный); исполнение электродвигателя по способу защиты от воздействия окружающей среды (Н — защищенное, при отсутствии данной буквы — закрытое обдуваемое); исполнение электродвигателя по материалу станины и щитов (А — станина и щиты алюминиевые, Х — любое сочетание чугуна и алюминия в качестве материалов станины и щитов; отсутствие знаков означает, что станина или щиты чугунные или стальные); высота оси вращения (три или две цифры); установочный размер по длине станины (S, M или L); длина сердечника статора (А или В) при условии сохранения установочного размера, отсутствие букв означает наличие только одной длины сердечника; число полюсов 2, 4, 6, 8, 10 или 12; У3 — климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150—69.

В электродвигателях с высотами оси вращения 50—132 мм применяется изоляция класса нагревостойкости В, с высотами оси вращения 160—355 мм — класса F (ГОСТ 8865—70).

В электродвигателях с высотами оси вращения 50—132 мм применяются герметизированные подшипники серии 18 000 с заложенной смазкой на срок службы не менее 12000 ч, с высотами оси вращения 160—355 мм предусмотрено два вида подшипниковых узлов: с наложением смазки только при разборке электродвигателя и устройством для пополнения смазки без разборки электродвигателя.

Выводное устройство служит для подключения электродвигателя к сети с помощью кабелей в оболочке из резины или пластмассы, а также бронированных кабелей. Возможно подключение кабелей, защищенных металлорукавом или газовой трубой. Для подключения могут применяться кабели с медными или алюминиевыми жилами.

Структура условного обозначения различных исполнений вводных устройств: К — коробка выводов; 3 — с панелью выводов или 2 — без панели выводов; М — с удлинителем под сухую разделку кабеля или заливку кабельной массой; I — с одним штуцером, II — с двумя штуцерами.

Электродвигатели изготовляются нормальной и повышенной точности.

Электродвигатели с повышенным пусковым моментом (табл. 86) предназначены для привода механизмов, имеющих большие статические и инерционные нагрузки в момент пуска (компрессоры, конвейеры, насосы, шлифовальные станки, поворотные круги и т. д.). В отличие от основного исполнения ротор этих электродвигателей имеет двойную клетку, залитую алюминием, обеспечивающую повышение пускового момента и снижение пускового тока. Электродвигатели с повышенным пусковым моментом выпускаются с высотами оси вращения от 160 до 250 мм.

Обозначение электродвигателей с повышенным пусковым моментом отличается от обозначения двигателей основного исполнения добавлением буквы Р, например, 4АР180М4У3.

Электродвигатели с повышенным скольжением (табл. 87, 88) предназначены для работы в повторно-кратковременном режиме с частым пуском или пульсирующей нагрузкой (штамповочные прессы, молоты, кузнечно-ковочные машины, поршневые компрессоры и т. д.).

В отличие от основного исполнения ротор этих электродвигателей имеет уменьшенные размеры пазов и заливается специальным сплавом повышенного сопротивления, что обеспечивает «мягкую» механическую характеристику.

Электродвигатели с повышенным скольжением выпускаются с высотами оси вращения 71—250 мм.

В обозначение электродвигателей с повышенным скольжением добавляется буква С, например, 4АС180М6У3.

Многоскоростные электродвигатели (табл. 89) выпускаются на две, три, четыре частоты вращения и предназначены для привода механизмов со ступенчатой регулировкой частоты вращения (металлообрабатывающие станки, некоторые виды лебедок, механические колосниковые решетки и т. п.) от 500 до 3000 об/мин. Для получения необходимых сочетаний чисел полюсов, обеспечивающих требуемую комбинацию частот вращения, электродвигатели имеют специальные схемы (рис. 39).

В обозначении многоскоростных электродвигателей дополнительно указываются числа полюсов, соответствующие частотам вращения, например, 4А132S4/2У3.

Электродвигатели с фазным ротором. В серии 4А электродвигатели с фазным ротором предусмотрены с высотами оси вращения 160—250 мм со степенью защиты IP44 (4АК160—250); с высотами оси вращения 160—355 мм со степенью защиты IP23 (4АНК160—355). Шкала мощностей электродвигателей 4АК, 4АНК и ее связь с установочными размерами приведены в табл. 90.

Малошумные электродвигатели (табл. 91) предназначены для работы в приводах с повышенными требованиями к уровню шума. Они выпускаются с высотами оси вращения 56—160 мм и отличаются от электродвигателей основного исполнения наличием двухслойной обмотки с укороченным шагом, числом пазов ротора, обеспечивающим минимальный магнитный шум, увеличением скоса пазов ротора до 1,5 зубцового деления, наличием повышенного воздушного зазора с минимальной неравномерностью, применением пластмассового вентилятора.

По уровню звука электродвигатели соответствуют требованиям ГОСТ 16372—70 для машин 3-го класса. Допустимые вибрации соответствуют ГОСТ 16921—71. Классы вибрации следующие: для высот оси вращения 56—71 мм и частот вращения 1500, 1000, 750 об/мин — 0,7, соответственно для высот оси вращения 80—132 мм — 1,1, для высоты оси вращения 160 мм и частоты вращения 1500 об/мин — 1,1, для частот вращения 1000, 750 об/мин — 0,7.

В обозначение малошумных электродвигателей добавляется буква Н, например, 4А160М4НУ3.

Встраиваемые электродвигатели предназначены для встраивания в станки и механизмы. Они поставляются в виде обмотанного статорного сердечника и ротора в двух вариантах: с вентилятором и без него.

При поставке электродвигателей с вентилятором указывается размер отверстий для прохода охлаждающего воздуха, без вентилятора — расход воздуха, необходимого для охлаждения электродвигателя до температуры, допустимой данным классом нагревостойкости изоляции.

Встраиваемые электродвигатели могут поставляться как в основном, так и специализированных исполнениях и соответствующих модификациях.

Технические данные встраиваемых электродвигателей аналогичны данным электродвигателей основного исполнения со степенью защиты IP44 или их модификаций (ГОСТ 19523—74).

Электродвигатели со встроенной температурной защитой предназначены для привода механизмов, работающих со значительными перегрузками, частыми пусками и т. д.

Температурная защита обеспечивает продолжительную работу электродвигателей без ложных срабатываний при температуре обмоток, измеренной по методу сопротивления и соответствующей предельной для данного класса изоляции; отключение электродвигателя при любых режимах, приводящих к чрезмерному перегреву обмоток; полное использование перегрузочной способности электродвигателя в пределах допустимых перегревов, достаточное быстродействие и минимальное время возврата после устранения неисправностей или перегрузок.

В лобовые части обмоток электродвигателей устанавливаются полупроводниковые датчики температуры (терморезисторы). Электродвигатели работают в комплекте со специальными устройствами температурной защиты, дающими сигнал на отключение.

Электродвигатели поставляются в основном исполнении, а также в электрических модификациях и специализированном исполнении. В обозначение электродвигателей добавляется буква Б, например, 4А132М4БУ3.

84. Технические данные асинхронных электродвигателей серии 4А основного исполнения при $U_н = 380$ В

Тип	$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин	$I_н$, А	$\eta_н$, %	$\cos \varphi_н$	$\frac{I_{пуск}}{I_н}$	$\frac{M_{пуск}}{M_н}$	$\frac{M_{мин}}{M_н}$	$\frac{M_{макс}}{M_н}$	Маховой момент, кгс м²
				Закрытое обдуваемое исполнение Синхронная частота вращения 3000 об/мин						
4А50А2У3	0,09	2740	0,32	60,0	0,70	4,0	2,0	1,8	2,2	$0,25\times10^{-4}$
4А50В2У3	0,12	2710	0,32	63,0	0,70	4,0	2,0	1,8	2,2	$0,27\times10^{-4}$
4А56А2У3	0,18	2800	0,54	66,0	0,76	4,0	2,0	1,5	2,2	$4,15\times10^{-4}$
4А56В2У3	0,25	2770	0,74	68,0	0,77	4,0	2,0	1,5	2,2	$4,65\times10^{-4}$
4А63А2У3	0,37	2750	0,93	70,0	0,86	4,5	2,0	1,5	2,2	$7,63\times10^{-4}$
4А63В2У3	0,55	2740	1,33	73,0	0,86	4,5	2,0	1,5	2,2	9×10^{-4}
4А71А2У3	0,75	2840	1,7	77,0	0,87	5,5	2,0	1,5	2,2	$9,8\times10^{-4}$
4А71В2У3	1,1	2810	2,5	77,5	0,87	5,5	2,0	1,5	2,2	$10,5\times10^{-4}$
4А80А2У3	1,5	2850	3,3	81,0	0,85	6,5	2,1	1,4	2,6	$18,3\times10^{-4}$
4А80В2У3	2,2	2850	4,7	83,0	0,87	6,5	2,1	1,4	2,5	$21,3\times10^{-4}$
4А90L2У3	3,0	2840	6,1	84,5	0,88	6,5	2,1	1,6	2,5	$0,35\times10^{-2}$
4А100S2У3	4,0	2880	7,8	86,5	0,89	7,5	2,0	1,6	2,5	$0,6\times10^{-2}$
4А100L2У3	5,5	2880	10,5	87,5	0,91	7,5	2,0	1,6	2,5	3×10^{-2}
4А112М2У3	7,5	2900	14,9	87,5	0,88	7,5	2,0	1,8	2,8	4×10^{-2}
4А132М2У3	11,0	2900	21,2	88,0	0,90	7,5	1,7	1,5	2,8	9×10^{-2}
4А160S2У3	15,0	2940	28,5	88,0	0,91	7,0	1,4	1,0	2,2	19×10^{-2}
4А160М2У3	18,5	2940	34,5	88,5	0,92	7,0	1,4	1,0	2,2	21×10^{-2}
4А180S2У3	22,0	2945	41,6	88,5	0,91	7,5	1,4	1,1	2,5	28×10^{-2}
4А180М2У3	30,0	2945	56,0	90,5	0,90	7,5	1,4	1,1	2,5	34×10^{-2}
4А200М2У3	37,0	2945	70,0	90,0	0,89	7,5	1,4	1,0	2,5	58×10^{-3}
4А200L2У3	45,0	2945	83,8	91,0	0,90	7,5	1,4	1,0	2,5	67×10^{-2}
4А225М2У3	55,0	2945	100,0	91,0	0,92	7,5	1,4	1,2	2,5	1,0
4А250S2У3	75,0	2960	140,0	91,0	0,89	7,5	1,2	1,0	2,5	1,86
4А250М2У3	90,0	2960	165,0	92,0	0,90	7,5	1,2	1,0	2,5	2,08

4А280S2У3	110,0	2970	206,0	91,0	0,89	7,0	1,2	1,0	2,2	4,36
4А280М2У3	132,0	2970	247,0	91,5	0,89	7,0	1,2	1,0	2,2	4,76
4А315S2У3	160,0	2970	294,0	92,0	0,90	6,5	1,2	0,9	2,2	5,6
4А315М2У3	200,0	2970	365,0	92,5	0,90	7,0	1,2	0,9	2,2	6,5
4А355S2У3	250,0	2970	459,0	92,5	0,90	7,0	1,0	0,9	1,9	11,4
4А355М2У3	315,0	2970	565,0	93,0	0,91	7,0	1,0	0,9	1,9	12,9
Синхронная частота вращения 1500 об/мин										
4А50А4У3	0,06	1380	0,31	50,0	0,60	2,5	2,0	1,7	2,2	$1,15\times10^{-4}$
4А50В4У3	0,09	1370	0,42	55,0	0,60	2,5	2,0	1,7	2,2	$1,3\times10^{-4}$
4А56А4У3	0,12	1375	0,44	63,0	0,66	3,5	2,1	1,5	2,2	28×10^{-4}
4А56В4У3	0,18	1365	0,66	64,0	0,64	3,5	2,1	1,5	2,2	$31,5\times10^{-4}$
4А63А4У3	0,25	1380	0,85	68,0	0,65	4,0	2,0	1,5	2,2	$49,5\times10^{-4}$
4А63В4У3	0,37	1365	1,2	68,0	0,69	4,0	2,0	1,5	2,2	55×10^{-4}
4А71А4У3	0,55	1390	1,7	70,5	0,70	4,5	2,0	1,8	2,2	52×10^{-4}
4А71В4У3	0,75	1390	2,17	72,0	0,73	4,5	2,0	1,8	2,2	57×10^{-4}
4А80А4У3	1,1	1420	2,76	75,0	0,81	5,0	2,0	1,6	2,2	$1,29\times10^{-2}$
4А80В4У3	1,5	1415	2,56	77,0	0,83	5,0	2,0	1,6	2,2	$1,33\times10^{-2}$
4А90L4У3	2,2	1425	5,02	80,0	0,83	6,0	2,1	1,6	2,4	$2,24\times10^{-2}$
4А100S4У3	3,0	1435	6,7	82,0	0,83	6,0	2,0	1,6	2,4	$3,47\times10^{-2}$
4А100L4У3	4,0	1430	8,6	84,0	0,84	6,0	2,0	1,6	2,4	$4,5\times10^{-2}$
4А112М4У3	5,5	1445	11,5	85,5	0,85	7,0	2,0	1,6	2,2	$7,0\times10^{-2}$
4А132S4У3	7,5	1455	11,1	87,5	0,86	7,5	2,2	1,7	3,0	$11,0\times10^{-2}$
4А132М4У3	11,0	1460	22,0	87,5	0,87	7,5	1,4	1,7	3,0	16×10^{-2}
4А160S4У3	15,0	1465	29,3	88,5	0,88	7,0	1,4	1,0	2,3	41×10^{-2}
4А160М4У3	18,5	1465	35,7	89,5	0,88	7,0	1,4	1,0	2,9	51×10^{-2}
4А180S4У3	22,0	1470	41,3	90,0	0,90	6,5	1,4	1,0	2,3	76×10^{-2}
4А180М4У3	30,0	1470	56,0	91,0	0,89	6,5	1,4	1,0	2,5	93×10^{-2}
4А200М4У3	37,0	1475	68,8	91,0	0,90	7,0	1,4	1,0	2,5	1,47
4А200L4У3	45,0	1475	82,6	92,0	0,90	7,0	1,4	1,0	2,5	1,78
4А225М4У3	55,0	1480	100,0	92,5	0,90	7,0	1,3	1,0	2,5	2,56
4А250S4У3	75,0	1480	136,0	93,0	0,90	7,0	1,2	1,0	2,3	4,08

Тип	$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин	$I_н$, А	$\eta_н$, %	$\cos \varphi_н$	$I_{пуск}/I_н$	$M_{пуск}/M_н$	$M_{мин}/M_н$	$M_{макс}/M_н$	Маховой момент, кгс м²
4A250M4У3	90,0	1480	162,0	93,0	0,91	7,0	1,2	1,0	2,3	4,67
4A280S4У3	110,0	1470	201,0	92,5	0,90	5,5	1,2	1,0	2,0	9,2
4A280M4У3	132,0	1480	240,0	93,0	0,90	5,5	1,3	1,0	2,0	9,9
4A315S4У3	160,0	1480	285,0	93,5	0,91	6,0	1,3	0,9	2,2	12,3
4A315M4У3	200,0	1480	351,0	94,0	0,92	6,0	1,3	0,9	2,2	14,5
4A355S4У3	250,0	1485	438,0	94,5	0,92	7,0	1,2	0,9	2,0	24,0
4A355M4У3	315,0	1485	549,0	94,5	0,92	7,0	1,2	0,9	2,0	28,2
Синхронная частота вращения 1000 об/мин										
4A63A6У3	0,18	885	0,78	56,0	0,62	3,0	2,2	1,5	2,2	$69,4\times10^{-4}$
4A63B6У3	0,25	890	1,04	59,0	0,62	3,0	2,2	1,5	2,2	86×10^{-4}
4A71A6У3	0,37	910	1,26	64,5	0,69	4,0	2,0	1,8	2,2	67×10^{-4}
4A71B6У3	0,55	900	1,74	67,5	0,71	4,0	2,0	1,8	2,2	81×10^{-4}
4A80A6У3	0,75	915	2,24	69,0	0,74	4,0	2,0	1,6	2,2	$1,85\times10^{-4}$
4A80B6У3	1,1	920	3,05	74,0	0,74	4,0	2,0	1,6	2,2	$1,84\times10^{-4}$
4A90L6У3	1,5	935	4,10	75,0	0,74	4,5	2,0	1,7	2,2	$2,94\times10^{-2}$
4A100L6У3	2,2	950	5,65	81,0	0,73	5,0	2,0	1,6	2,2	$5,24\times10^{-2}$
4A112MA6У3	3,0	955	7,40	81,0	0,76	6,0	2,0	1,8	2,5	7×10^{-2}
4A112MB6У3	4,0	950	9,13	82,0	0,81	6,0	2,0	1,8	2,5	8×10^{-2}
4A132S6У3	5,5	965	12,2	85,0	0,80	6,5	2,0	1,8	2,5	16×10^{-2}
4A132M6У3	7,5	870	16,5	85,5	0,81	6,5	2,0	1,8	2,5	23×10^{-2}
4A160S6У3	11,0	975	22,6	86,0	0,86	6,0	1,2	1,0	2,0	55×10^{-2}
4A160M6У3	15,0	975	30,0	87,5	0,87	6,0	1,2	1,0	2,0	73×10^{-2}
4A180M6У3	18,5	975	36,6	88,0	0,87	5,0	1,2	1,0	2,0	88×10^{-2}
4A200M6У3	22,0	975	41,3	90,0	0,90	6,5	1,3	1,0	2,4	1,60
4A200L6У3	30,0	980	56,0	90,5	0,90	6,5	1,3	1,0	2,4	1,81
4A225M6У3	37,0	980	69,4	91,0	0,89	6,5	1,2	1,0	2,3	2,95

4A250S6У3	45,0	985	84,0	91,5	0,89	6,5	1,2	1,0	2,1	4,62
4A250M6У3	55,0	985	103,0	91,5	0,89	6,5	1,2	1,0	2,1	5,04
4A280S6У3	75,0	985	139,0	92,0	0,89	6,5	1,4	1,2	2,2	11,7
4A280M6У3	90,0	985	165,0	92,5	0,89	5,5	1,4	1,2	2,2	13,5
4A315S6У3	110,0	985	199,0	93,0	0,90	5,5	1,4	0,9	2,2	16,0
4A315M6У3	132,0	985	239,0	93,5	0,90	6,5	1,4	0,9	2,2	18,0
4A355S6У3	160,0	985	291,0	93,5	0,90	6,5	1,4	0,9	2,2	29,3
4A355M6У3	200,0	985	362,0	94,0	0,90	6,5	1,4	0,9	2,2	35,2

Синхронная частота вращения 750 об/мин

4A71B8У3	0,25	680	1,05	56,0	0,65	3,0	1,6	1,4	1,7	74×10^{-4}
4A80A8У3	0,37	675	1,4	61,5	0,65	3,5	1,6	1,2	1,7	$1,35\times10^{-2}$
4A80B8У3	0,55	700	2,0	64,0	0,65	3,5	1,6	1,2	1,7	$1,62\times10^{-2}$
4A90LA8У3	0,75	700	2,7	68,0	0,62	3,5	1,6	1,4	1,9	$2,7\times10^{-2}$
4A90LB8У3	1,1	700	3,5	70,0	0,68	3,5	1,6	1,4	1,9	$3,45\times10^{-2}$
4A100L8У3	1,5	700	4,7	74,0	0,65	4,0	1,6	1,3	1,9	$5,2\times10^{-2}$
4A112MA8У3	2,2	700	6,18	76,5	0,71	5,0	1,9	1,5	2,2	$7,0\times10^{-2}$
4A112MB8У3	3,0	700	7,8	79,0	0,74	5,0	1,9	1,5	2,2	10×10^{-2}
4A132S8У3	4,0	720	10,3	83,0	0,70	5,5	1,9	1,7	2,6	17×10^{-2}
4A132M8У3	5,5	720	13,6	83,0	0,74	5,5	1,9	1,7	2,6	23×10^{-2}
4A160S8У3	7,5	730	17,7	86,0	0,75	6,0	1,4	1,0	2,2	55×10^{-2}
4A160M8У3	11,0	730	25,6	87,0	0,75	6,0	1,4	1,0	2,2	72×10^{-2}
4A180M8У3	15,0	730	32,0	87,0	0,82	6,0	1,2	1,0	2,0	1,0
4A200M8У3	18,5	735	37,8	88,5	0,84	5,5	1,2	1,1	2,2	1,6
4A200L8У3	22,0	735	45,0	88,5	0,84	5,5	1,2	1,1	2,0	1,81
4A225M8У3	30,0	740	62,4	90,0	0,81	6,0	1,2	1,2	2,1	2,95
4A250S8У3	37,0	735	75,0	90,0	0,83	6,0	1,2	1,0	2,0	4,62
4A250M8У3	45,0	735	89,6	91,0	0,84	6,0	1,2	1,0	2,0	5,45
4A280S8У3	55,0	740	108,0	92,0	0,84	5,5	1,2	1,0	2,0	12,7
4A280M8У3	75,0	740	146,0	92,5	0,85	5,5	1,2	1,0	2,0	16,5
4A315S8У3	90,0	740	173,0	93,0	0,85	6,5	1,2	0,9	2,3	19,7

Продолжение табл. 84

Тип	$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин	$I_н$, А	$\eta_н$, %	$\cos \varphi_н$	$\frac{I_{пуск}}{I_н}$	$\frac{M_{пуск}}{M_н}$	$\frac{M_{мин}}{M_н}$	$\frac{M_{макс}}{M_н}$	Маховой момент, кгс м²
4А315М8У3	110,0	740	211,0	93,0	0,85	6,5	1,2	0,9	2,3	23,4
4А355S8У3	132,0	740	253,0	93,5	0,85	6,5	1,2	0,9	2,2	36,2
4А355М8У3	160,0	740	306,0	93,5	0,85	6,5	1,2	0,9	2,2	40,8
Синхронная частота вращения 600 об/мин										
4А250S10У3	30,0	590	64,0	88,0	0,81	6,0	1,2	1,0	1,9	5,45
4А250М10У3	37,0	590	80,0	89,0	0,81	6,0	1,2	1,0	1,9	6,42
4А280S10У3	37,0	590	80,0	91,0	0,78	6,0	1,0	1,0	1,8	14,4
4А280М10У3	45,0	590	97,0	91,5	0,78	6,0	1,0	1,0	1,8	15,1
4А315S10У3	55,0	590	116,0	92,0	0,79	6,0	1,0	0,9	1,8	21,0
4А315М10У3	75,0	590	155,0	92,0	0,80	6,0	1,0	0,9	1,8	24,7
4А355S10У3	90,0	590	179,0	92,5	0,83	6,0	1,0	0,9	1,8	37,3
4А355М10У3	110,0	590	217,0	93,0	0,83	6,0	1,0	0,9	1,8	43,5
Синхронная частота вращения 500 об/мин										
4А315S12У3	45,0	490	100,0	90,5	0,75	6,0	1,0	0,9	1,8	21,0
4А315М12У3	55,0	940	122,0	91,5	0,75	6,0	1,0	0,9	1,8	24,7
4А355S12У3	75,0	490	164,5	91,5	0,76	6,0	1,0	0,9	1,8	37,3
4А355М12У3	90,0	495	196,6	92,0	0,76	6,0	1,0	0,9	1,8	43,5
Защищенное исполнение. Синхронная частота вращения 3000 об/мин										
4АН160S2У3	22,0	2915	43,2	88,0	0,88	7,0	1,3	1,0	2,2	17×10^{-3}
4АН160М2У3	30,0	2914	55,7	90,0	0,91	7,0	1,3	1,0	2,2	22×10^{-2}
4АН180S2У3	37,0	2945	67,8	91,0	0,91	7,0	1,2	1,0	2,2	32×10^{-2}

4АН180М2У3	45,0	2945	82,7	91,0	0,91	7,0	1,3	1,0	2,2	37×10^{-2}
4АН200М2У3	55,0	2940	93,0	91,0	0,90	7,0	1,3	1,0	2,5	64×10^{-2}
4АН200L2У3	75,0	2940	137,0	92,0	0,90	7,0	1,3	1,0	2,5	76×10^{-2}
4АН225М2У3	90,0	2945	169,0	92,0	0,88	7,0	1,2	1,0	2,2	95×10^{-2}
4АН250S2У3	110,0	2950	209,0	93,0	0,86	7,0	1,2	1,0	2,2	1,77
4АН250М2У3	132,0	2945	245,0	93,0	0,88	7,0	1,2	1,0	2,2	1,98
4АН280S2У3	160,0	2960	288,0	94,0	0,90	6,5	1,2	1,0	2,2	3,1
4АН280М2У3	200,0	2960	359,0	94,5	0,90	6,5	1,2	1,0	2,2	4,1
4АН315М2У3	250,0	2970	442,0	94,5	0,91	6,0	1,0	0,9	2,1	6,8
4АН355S2У3	315,0	2970	558,0	94,5	0,91	7,0	1,0	0,9	2,1	9,5
4АН355М2У3	400,0	2970	700,0	95,0	0,92	7,0	1,0	0,9	2,1	11,4

Синхронная частота вращения 1500 об/мин

4АН160S4У3	18,5	1450	36,5	88,5	0,87	6,5	1,3	1,1	2,1	37×10^{-2}
4АН160М4У3	32,0	1458	42,2	90,0	0,88	6,5	1,3	1,1	2,1	47×10^{-2}
4АН180S4У3	37,0	1465	60,3	90,0	0,84	6,5	1,2	1,0	2,2	71×10^{-2}
4АН180М4У3	37,0	1470	70,0	90,5	0,89	6,5	1,2	1,0	2,2	87×10^{-2}
4АН200М4У3	45,0	1475	84,4	91,0	0,89	6,5	1,3	1,0	2,5	1,38
4АН200L4У3	55,0	1475	102,0	92,0	0,89	6,5	1,3	1,0	2,5	1,69
4АН225М4У3	75,0	1475	139,0	92,5	0,89	6,5	1,2	1,0	2,2	2,41
4АН250S4У3	90,0	1480	164,0	93,5	0,89	6,5	1,2	1,0	2,2	3,53
4АН250М4У3	110,0	1475	201,0	93,5	0,89	6,5	1,2	1,0	2,2	3,83
4АН280S4У3	132,0	1470	242,0	93,0	0,89	6,0	1,2	1,0	2,0	7,3
4АН280М4У3	160,0	1470	291,0	93,5	0,90	6,0	1,2	1,0	2,0	8,5
4АН315S4У3	200,0	1475	355,0	94,0	0,91	6,0	1,2	0,9	2,0	12,6
4АН315М4У3	250,0	1475	448,0	94,0	0,91	6,0	1,2	0,9	2,0	14,8
4АН355S4У3	315,0	1485	557,0	94,5	0,91	7,0	1,0	0,9	2,0	23,0
4АН355М4У3	400,0	1485	704,0	94,5	0,91	7,0	1,0	0,9	2,0	28,0

Продолжение табл. 84

Тип	$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин	$I_н$, А	$\eta_н$, %	$\cos \varphi_н$	$\frac{I_{пуск}}{I_н}$	$\frac{M_{пуск}}{M_н}$	$\frac{M_{мин}}{M_н}$	$\frac{M_{макс}}{M_н}$	Маховой момент, кгс м²
Синхронная частота вращения 1000 об/мин										
4АН180S64У3	18,5	975	38,0	87,0	0,85	6,0	1,2	1,0	2,0	75×10^{-2}
4АН180M64У3	22,0	975	43,3	88,5	0,87	6,0	1,2	1,0	2,0	94×10^{-2}
4АН200M64У3	30,0	975	57,7	90,0	0,88	6,0	1,3	1,0	2,1	1,51
4АН200L64У3	37,0	980	70,7	90,5	0,88	6,5	1,3	1,0	2,1	1,72
4АН225M64У3	45,0	980	86,5	91,0	0,87	6,5	1,2	1,0	2,0	2,81
4АН250S64У3	55,0	985	104,0	92,5	0,87	6,5	1,2	1,0	2,0	4,36
4АН250M64У3	75,0	985	142,0	93,0	0,87	7,0	1,2	1,0	2,0	5,6
4АН280S64У3	90,0	985	167,0	92,5	0,89	6,0	1,2	1,0	2,0	10,0
4АН280M64У3	110,0	985	203,0	92,5	0,89	6,0	1,2	1,0	2,0	11,5
4АН315S64У3	132,0	985	242,0	93,0	0,89	6,0	1,2	1,0	2,0	17,8
4АН315M64У3	160,0	985	293,0	93,5	0,89	6,0	1,2	1,0	2,0	20,5
4АН355S64У3	200,0	985	361,0	94,0	0,90	6,0	1,2	1,0	2,0	31,2
4АН355M64У3	250,0	985	450,0	94,0	0,90	6,0	1,2	1,0	2,0	38,0
Синхронная частота вращения 750 об/мин										
4АН180S8У3	15,0	730	32,2	86,0	0,80	5,5	1,2	1,0	1,9	94×10^{-2}
4АН180M8У3	18,5	730	40,3	87,5	0,80	5,5	1,2	1,0	1,9	1,19
4АН200M8У3	22,0	730	42,0	89,0	0,84	5,5	1,3	1,0	2,0	1,96
4АН200L8У3	30,0	730	62,0	89,5	0,82	5,5	1,3	1,0	2,0	2,33
4АН225M8У3	37,0	735	77,0	90,0	0,81	5,5	1,2	1,0	1,9	3,3
4АН250S8У3	45,0	770	92,5	91,0	0,81	5,5	1,2	1,0	1,9	4,77
4АН250M8У3	55,0	735	112,0	92,0	0,81	6,0	1,2	1,0	1,9	5,6
4АН280S8У3	75,0	735	146,0	92,0	0,85	5,0	1,2	1,0	1,9	12,0
4АН280M8У3	90,0	735	173,0	92,5	0,86	5,0	1,2	1,0	1,9	13,5

4АН315S8У3	110,0	735	208,0	93,0	0,86	5,0	1,2	1,0	1,9	24,3
4АН315M8У3	132,0	735	251,0	93,0	0,86	5,0	1,2	1,0	1,9	28,0
4АН355S8У3	160,0	740	302,0	93,5	0,86	5,5	1,2	1,0	1,9	39,0
4АН355M8У3	200,0	740	377,0	94,0	0,86	5,5	1,2	1,0	1,9	47,5
Синхронная частота вращения 600 об/мин										
4АН280S10У3	45,0	585	94,0	90,0	0,81	5,5	1,0	1,0	1,8	12,9
4АН280M10У3	55,0	585	114,0	90,5	0,81	5,5	1,0	1,0	1,8	15,0
4АН315S10У3	75,0	590	153,0	91,0	0,82	5,5	1,0	0,9	1,8	22,5
4АН315M10У3	90,0	590	182,0	91,5	0,82	5,5	1,0	0,9	1,8	26,5
4АН355S10У3	110,0	590	219,0	92,0	0,83	5,5	1,0	0,9	1,8	38,7
4АН355M10У3	132,0	590	260,0	92,5	0,83	5,5	1,0	0,9	1,8	44,0
Синхронная частота вращения 500 об/мин										
4АН315S12У3	55,0	490	118	90,5	0,78	5,5	1,0	0,9	1,8	22,5
4АН315M12У3	75,0	490	160	91,0	0,78	5,5	1,0	0,9	1,8	26,5
4АН355S12У3	90,0	490	195	91,5	0,77	5,5	1,0	0,9	1,8	38,7
4АН355M12У3	110,0	490	237	92,0	0,77	5,5	1,0	0,9	1,8	44,0

85. Значение КПД и коэффициента мощности электродвигателей основного исполнения при частичных нагрузках

Тип	$P_н$, кВт	η, %					cos φ				
		Нагрузка от номинальной мощности, %									
		25	50	75	100	125	25	50	75	100	125
Закрытое обдуваемое исполнение Синхронная частота вращения 3000 об/мин											
4А50А2У3	0,09	42,0	55,5	60,0	60,0	57,5	0,31	0,49	0,61	0,70	0,75
4А50В2У3	0,12	48,5	60,0	63,5	63,0	58,0	0,31	0,50	0,62	0,70	0,75
4А56А2У3	0,18	51,0	63,0	66,0	66,0	63,0	0,34	0,54	0,66	0,76	0,81
4А56В2У3	0,25	57,5	67,5	69,0	68,0	64,0	0,35	0,57	0,70	0,77	0,81
4А63А2У3	0,37	63,0	71,0	72,0	70,0	65,0	0,45	0,69	0,80	0,86	0,89
4А63В2У3	0,55	69,0	75,0	75,0	73,0	68,0	0,47	0,69	0,80	0,86	0,88
4А71А2У3	0,75	71,0	78,0	78,5	77,0	73,0	0,50	0,72	0,82	0,87	0,89
4А71В2У3	1,1	76,0	79,5	79,5	77,5	73,0	0,50	0,73	0,82	0,87	0,89
4А80А2У3	1,5	73,0	80,5	81,5	81,0	79,0	0,48	0,70	0,80	0,85	0,87
4А80В2У3	2,2	77,0	83,0	83,5	83,0	81,0	0,51	0,73	0,83	0,87	0,89
4А90L2У3	3,0	80,0	85,5	85,5	84,5	82,0	0,58	0,78	0,85	0,88	0,89
4А100S2У3	4,0	80,0	86,0	87,0	86,5	85,0	0,60	0,80	0,86	0,89	0,90
4А100L2У3	5,5	82,5	87,5	88,0	87,5	80,0	0,65	0,83	0,88	0,91	0,91
4А112М2У3	7,5	78,0	85,5	87,5	87,5	86,5	0,56	0,74	0,83	0,88	0,89
4А132М2У3	11,0	80,0	87,0	88,0	87,0	0,65	0,82	0,87	0,90	0,90	0,90
4А160S2У3	15,0	80,0	86,5	88,0	88,0	87,0	0,65	0,82	0,87	0,90	0,90
4А160М2У3	18,5	82,0	87,5	88,5	88,5	87,0	0,72	0,86	0,90	0,92	0,92
4А180S2У3	22,0	79,0	86,0	88,5	88,5	88,0	0,65	0,82	0,80	0,91	0,92
4А180М2У3	30,0	82,0	88,5	90,5	90,5	89,0	0,66	0,82	0,88	0,90	0,90
4А200М2У3	37,0	81,0	87,5	90,0	90,0	89,5	0,67	0,82	0,87	0,89	0,89
4А200L2У3	45,0	83,0	89,0	91,0	91,0	90,5	0,71	0,85	0,89	0,90	0,90
4А225М2У3	55,0	82,5	89,5	91,0	91,0	90,5	0,78	0,89	0,91	0,92	0,92

4A250S2У3	75,0	81,0	88,0	91,0	91,0	91,0	0,71	0,84	0,88	0,89	0,89
4A250M2У3	90,0	84,0	90,0	92,0	92,0	91,5	0,71	0,84	0,89	0,90	0,90
4A280S2У3	110,0	82,0	88,5	91,0	91,0	90,5	0,83	0,87	0,88	0,89	0,88
4A280M2У3	132,0	84,0	89,5	91,5	91,5	91,0	0,83	0,87	0,88	0,89	0,88
4A315S2У3	160,0	85,5	90,5	92,0	92,0	91,5	0,83	0,87	0,89	0,90	0,89
4A315M2У3	200,0	87,0	91,5	92,5	92,0	92,0	0,83	0,88	0,89	0,90	0,89
4A355S2У3	250,0	87,0	91,0	92,5	92,5	92,0	0,86	0,88	0,89	0,90	0,89
4A355M2У3	315,0	89,0	92,0	93,0	93,0	92,0	0,88	0,89	0,90	0,91	0,90

Синхронная частота вращения 1500 об/мин

4A50A4У3	0,06	25,0	40,0	50,0	50,0	49,5	0,31	0,41	0,51	0,60	0,68
4A50B4У3	0,09	31,0	46,0	55,0	55,0	54,5	0,31	0,40	0,51	0,60	0,68
4A56A4У3	0,12	40,0	55,0	63,0	63,0	61,5	0,30	0,43	0,56	0,66	0,70
4A56B4У3	0,18	43,5	58,0	64,0	64,0	61,5	0,26	0,40	0,53	0,64	0,74
4A63A4У3	0,25	49,0	63,0	68,0	68,0	65,5	0,26	0,41	0,54	0,65	0,72
4A63B4У3	0,37	51,5	64,5	68,0	68,0	64,0	0,29	0,45	0,58	0,69	0,75
4A71A4У3	0,55	55,0	67,0	70,5	70,5	67,0	0,29	0,46	0,59	0,70	0,75
4A71B4У3	0,75	58,5	70,0	73,0	72,0	68,5	0,33	0,50	0,64	0,73	0,79
4A80A4У3	1,1	64,0	74,0	76,0	75,0	72,0	0,38	0,59	0,73	0,81	0,85
4A80B4У3	1,5	70,0	78,0	78,5	77,0	73,0	0,41	0,63	0,76	0,83	0,86
4A90L4У3	2,2	74,0	81,0	81,5	80,0	76,5	0,42	0,64	0,76	0,83	0,88
4A100S4У3	3,0	75,5	82,0	93,0	82,0	79,5	0,43	0,65	0,77	0,83	0,88
4A100L4У3	4,0	79,5	84,5	85,0	84,0	81,5	0,46	0,68	0,79	0,84	0,86
4A112M4У3	5,5	82,0	86,5	86,5	85,5	83,0	0,51	0,72	0,80	0,85	0,85
4A132S4У3	7,5	77,5	86,0	87,5	87,5	86,0	0,53	0,71	0,83	0,86	0,87
4A132M4У3	11,0	80,0	86,0	88,0	87,5	87,0	0,55	0,75	0,84	0,87	0,88
4A160S4У3	15,0	86,0	89,5	89,5	88,5	86,5	0,63	0,81	0,87	0,88	0,88
4A160M4У3	18,5	87,5	90,5	90,5	89,5	87,5	0,66	0,82	0,86	0,88	0,88
4A180S4У3	22,5	85,5	89,5	90,0	90,0	87,0	0,65	0,82	0,87	0,90	0,89
4A180M4У3	30,0	87,0	90,5	91,0	91,0	89,0	0,66	0,83	0,88	0,89	0,89
4A200M4У3	37,0	87,0	90,5	91,0	91,0	90,5	0,67	0,84	0,89	0,90	0,90

Тип	$P_н$, кВт	η, %					cos φ				
		Нагрузка от номинальной мощности, %									
		25	50	75	100	125	25	50	75	100	125
4A200L4У3	45,0	88,5	92,0	92,5	92,0	91,0	0,69	0,85	0,89	0,90	0,90
4A225M4У3	55,0	88,5	92,0	92,5	92,5	91,5	0,68	0,84	0,89	0,90	0,90
4A250S4У3	75,0	88,5	92,0	93,0	93,0	92,5	0,69	0,84	0,88	0,90	0,90
4A250M4У3	90,0	89,0	92,5	93,0	93,0	92,0	0,73	0,87	0,90	0,91	0,90
4A280S4У3	110,0	89,5	92,5	93,0	92,5	91,0	0,82	0,90	0,91	0,90	0,87
4A280M4У3	132,0	90,0	93,0	93,5	93,0	92,5	0,80	0,90	0,91	0,90	0,87
4A315S4У3	160,0	91,0	93,5	94,0	93,5	92,5	0,81	0,90	0,91	0,91	0,88
4A315M4У3	200,0	91,5	94,0	94,5	94,0	93,0	0,82	0,90	0,92	0,92	0,89
4A335S4У3	250,0	91,5	94,0	94,5	94,0	93,5	0,82	0,90	0,92	0,92	0,89
4A335M4У3	315,0	92,5	94,5	95,0	94,5	93,5	0,85	0,92	0,92	0,92	0,89
Синхронная частота вращения 1000 об/мин											
4A63A6У3	0,18	34,5	49,5	56,0	56,0	52,0	0,25	0,38	0,51	0,62	0,71
4A63B6У3	0,25	39,5	54,0	59,0	59,0	55,5	0,24	0,38	0,51	0,62	0,70
4A71A6У3	0,37	45,5	59,5	64,5	64,5	61,0	0,30	0,45	0,58	0,69	0,76
4A71B6У3	0,55	52,5	65,5	68,5	67,5	62,5	0,30	0,47	0,60	0,71	0,77
4A80A6У3	0,75	56,0	68,0	69,5	69,0	63,5	0,33	0,51	0,65	0,74	0,79
4A80B6У3	1,1	63,0	73,5	75,0	74,0	69,0	0,33	0,52	0,65	0,74	0,78
4A90L6У3	1,5	65,5	75,0	76,0	75,0	71,0	0,33	0,53	0,66	0,74	0,77
4A100L6У3	2,2	74,0	81,5	82,0	81,0	78,0	0,32	0,53	0,66	0,73	0,76
4A112MA6У3	3,0	73,0	81,0	82,0	81,0	78,5	0,33	0,56	0,69	0,76	0,79
4A112MB6У3	4,0	77,0	82,5	83,0	82,0	79,5	0,40	0,62	0,74	0,81	0,83
4A132S6У3	5,5	71,0	81,0	84,0	85,0	83,0	0,33	0,56	0,69	0,80	0,84
4A132M6У3	7,5	76,0	84,0	85,0	85,0	84,0	0,40	0,62	0,74	0,81	0,84
4A160S6У3	11,0	83,5	87,5	87,5	86,0	83,5	0,54	0,75	0,83	0,86	0,87

4A160M6У3	15,0	85,0	88,5	88,5	87,5	85,0	0,55	0,76	0,84	0,87	0,87
4A180M6У3	18,5	85,0	89,0	89,0	88,0	86,0	0,54	0,76	0,84	0,87	0,87
4A200M5У3	22,0	87,5	91,0	91,0	90,0	88,0	0,68	0,84	0,88	0,90	0,90
4A200L6У3	30,0	88,0	91,0	91,0	90,5	89,0	0,64	0,82	0,88	0,90	0,90
4A225M6У3	37,0	87,5	91,0	91,5	91,0	89,5	0,63	0,81	0,87	0,89	0,89
4A250S6У3	45,0	87,5	91,0	91,5	91,5	90,5	0,64	0,82	0,87	0,89	0,89
4A250M6У3	55,0	88,0	91,0	91,5	91,5	90,5	0,60	0,80	0,86	0,89	0,89
4A280S6У3	75,0	90,0	92,5	92,5	92,0	90,0	0,70	0,85	0,88	0,89	0,88
4A280M6У3	90,0	90,0	93,0	93,0	92,5	91,0	0,67	0,83	0,87	0,89	0,88
4A315S6У3	110,0	91,0	93,0	93,5	93,0	92,0	0,68	0,84	0,88	0,90	0,89
4A315M6У3	132,0	91,5	93,5	94,0	93,5	92,5	0,68	0,84	0,88	0,90	0,89
4A355S6У3	160,0	91,5	93,5	94,0	93,5	92,5	0,73	0,86	0,89	0,90	0,89
4A355M6У3	200,0	92,0	94,0	94,0	94,0	93,0	0,72	0,86	0,89	0,90	0,89
Синхронная частота вращения 750 об/мин											
4A71B8У3	0,25	36,5	51,5	56,5	56,0	45,0	0,29	0,42	0,55	0,65	0,75
4A80A8У3	0,37	42,5	57,0	61,5	61,5	56,5	0,28	0,42	0,55	0,65	0,72
4A80B8У3	0,55	46,0	60,0	64,5	64,0	59,0	0,28	0,42	0,55	0,65	0,71
4A90LA8У3	0,75	49,0	63,0	68,0	68,0	65,5	0,26	0,40	0,52	0,62	0,68
4A90LB8У3	1,1	55,5	67,5	70,5	70,0	66,0	0,30	0,46	0,59	0,68	0,73
4A100L8У3	1,5	62,0	73,0	75,0	74,0	70,0	0,26	0,44	0,57	0,65	0,69
4A112MA8У3	2,2	64,0	74,5	76,0	76,5	74,0	0,30	0,48	0,62	0,71	0,76
4A112MB8У3	3,0	69,5	78,0	79,5	79,5	76,5	0,33	0,52	0,66	0,74	0,78
4A132SBУ3	4,0	71,0	80,0	83,0	83,0	81,0	0,27	0,46	0,59	0,70	0,73
4A132M8У3	5,5	74,5	82,0	83,5	83,0	80,5	0,32	0,52	0,65	0,74	0,76
4A160S8У3	7,5	79,5	86,0	86,5	86,0	84,0	0,35	0,57	0,69	0,75	0,77
4A160M8У3	11,0	81,0	87,0	87,5	87,0	85,0	0,57	0,57	0,69	0,75	0,77
4A180M8У3	15,0	82,5	87,5	88,0	87,0	84,5	0,68	0,68	0,78	0,82	0,83
4A200M8У3	18,5	85,5	89,5	89,5	88,5	86,5	0,71	0,71	0,80	0,84	0,84
4A200L8У3	22,0	87,5	90,0	90,0	88,5	88,5	0,75	0,75	0,82	0,84	0,84
4A225M8У3	30,0	85,0	90,0	90,5	90,0	88,5	0,66	0,66	0,76	0,81	0,82

Продолжение табл. 85

Тип	$P_н$, кВт	η, %					cos φ				
		Нагрузка от номинальной мощности, %									
		25	50	75	100	125	25	50	75	100	125
4A250S8У3	37,0	86,5	90,5	90,0	90,0	88,5	0,72	0,72	0,80	0,83	0,83
4A250M8У3	45,0	87,0	90,5	91,0	91,0	90,0	0,71	0,71	0,80	0,84	0,84
4A280S8У3	55,0	90,0	92,5	92,5	92,0	90,0	0,76	0,76	0,81	0,84	0,82
4A280M8У3	75,0	90,5	93,0	93,0	92,5	91,0	0,77	0,77	0,82	0,85	0,84
4A315S8У3	90,0	93,0	93,5	93,5	93,0	91,5	0,76	0,76	0,82	0,85	0,84
4A315M8У3	110,0	91,0	93,0	93,5	93,0	92,0	0,75	0,75	0,82	0,85	0,84
4A355S8У3	132,0	91,5	94,0	94,0	93,5	86,0	0,78	0,78	0,83	0,85	0,84
4A355M8У3	160,0	92,0	94,0	94,0	93,5	92,0	0,79	0,79	0,83	0,85	0,83
Синхронная частота вращения 600 об/мин											
4A250S10У3	30,0	84,5	88,5	88,5	88,0	86,0	0,43	0,66	0,76	0,81	0,82
4A250M10У3	37,0	85,0	89,0	89,5	89,0	87,5	0,42	0,65	0,76	0,81	0,82
4A280S10У3	37,0	86,5	90,5	91,0	91,0	89,5	0,44	0,65	0,73	0,78	0,77
4A280M10У3	45,0	87,0	92,0	92,0	91,5	89,5	0,47	0,68	0,74	0,78	0,77
4A315S10У3	55,0	88,5	92,0	92,0	92,0	91,0	0,49	0,69	0,76	0,79	0,79
4A315M10У3	75,0	89,5	92,5	92,5	92,0	90,5	0,52	0,71	0,78	0,80	0,80
4A355S10У3	90,0	91,0	93,0	93,0	92,5	90,5	0,60	0,77	0,81	0,83	0,80
4A355M10У3	110,0	91,0	93,5	93,5	93,0	91,5	0,56	0,74	0,80	0,83	0,81
Синхронная частота вращения 500 об/мин											
4A315S12У3	45,0	87,5	91,0	91,0	90,5	89,0	0,43	0,64	0,72	0,75	0,75
4A315M12У3	55,0	88,0	91,0	91,5	91,0	89,5	0,42	0,63	0,71	0,75	0,75
4A355S12У3	75,0	88,0	91,5	91,5	91,5	90,5	0,41	0,62	0,71	0,76	0,75
4A355M12У3	90,0	88,0	91,5	92,0	92,0	91,0	0,40	0,61	0,71	0,76	0,76

Защищенное исполнение

Синхронная частота вращения 3000 об/мин

4АН160S2У3	22,0	87,5	90,0	89,5	88,0	85,0	0,68	0,83	0,87	0,88	0,87
4АН160М2У3	30,0	90,0	92,0	91,5	90,0	87,0	0,77	0,88	0,90	0,91	0,90
4АН180S2У3	37,0	87,0	90,5	91,0	91,0	90,0	0,59	0,78	0,87	0,91	0,91
4АН180М2У3	45,0	88,5	91,5	91,5	91,0	89,5	0,66	0,83	0,88	0,91	0,91
4АН200М2У3	55,0	87,5	91,0	91,0	91,0	90,0	0,68	0,84	0,88	0,90	0,90
4АН200L2У3	75,0	89,5	92,0	92,5	92,0	91,0	0,72	0,85	0,89	0,90	0,89
4АН225М2У3	90,0	89,5	92,0	92,5	92,0	91,0	0,67	0,83	0,87	0,88	0,88
4АН250S2У3	110,0	90,0	92,5	93,0	93,0	92,0	0,67	0,81	0,85	0,86	0,85
4АН250М2У3	132,0	91,5	93,0	93,5	93,0	92,0	0,76	0,86	0,87	0,88	0,87
4АН280S2У3	160,0	93,0	94,5	94,5	94,0	92,0	0,86	0,88	0,89	0,90	0,87
4АН280М2У3	200,0	94,5	95,5	95,0	94,5	92,5	0,85	0,88	0,89	0,90	0,86
4АН315М2У3	250,0	94,0	95,0	95,0	94,5	93,0	0,89	0,93	0,92	0,91	0,85
4АН355S2У3	315,0	93,0	94,5	94,5	94,5	93,0	0,86	0,92	0,92	0,92	0,89
4АН355М2У3	400,0	94,5	95,5	95,9	95,0	93,5	0,89	0,93	0,93	0,92	0,88

Синхронная частота вращения 1500 об/мин

4АН160S4У3	18,5	88,5	91,0	90,5	88,5	86,5	0,64	0,81	0,86	0,87	0,86
4АН160М4У3	22,0	89,0	92,0	91,5	90,0	88,0	0,66	0,82	0,87	0,88	0,87
4АН180S4У3	30,0	88,0	90,5	90,5	90,0	87,5	0,57	0,73	0,81	0,84	0,82
4АН180М4У3	37,0	89,0	91,5	91,5	90,5	88,5	0,65	0,82	0,87	0,89	0,88
4АН200М4У3	45,0	89,5	92,0	92,0	91,0	89,5	0,65	0,83	0,87	0,89	0,88
4АН200L4У3	55,0	90,0	92,5	92,5	92,0	90,5	0,67	0,83	0,88	0,89	0,88
4АН225М4У3	75,0	91,5	93,0	93,0	92,5	91,0	0,68	0,84	0,88	0,89	0,88
4АН250S4У3	90,0	91,0	93,5	93,5	93,5	92,5	0,67	0,83	0,87	0,89	0,89
4АН250М4У3	110,0	91,5	93,5	93,5	93,5	92,5	0,67	0,83	0,87	0,89	0,88
4АН280S4У3	132,0	93,0	94,0	94,0	93,0	91,0	0,79	0,88	0,89	0,90	0,85
4АН280М4У3	160,0	93,0	94,5	94,5	93,5	92,0	0,79	0,89	0,90	0,91	0,87
4АН315S4У3	200,0	93,5	94,5	94,5	94,0	92,5	0,79	0,89	0,91	0,91	0,88

Продолжение табл. 85

Тип	$P_н$, кВт	η, %					cos φ				
		Нагрузка от номинальной мощности, %									
		25	50	75	100	125	25	50	75	100	125
4АН315М4У3	250,0	94,0	95,0	95,0	94,0	92,0	0,84	0,91	0,92	0,91	0,86
4АН355S4У3	315,0	94,0	95,5	95,5	94,5	93,0	0,82	0,91	0,91	0,91	0,87
4АН355М4У3	400,0	94,5	95,5	95,5	94,5	93,0	0,89	0,91	0,91	0,91	0,87
Синхронная частота вращения 1000 об/мин											
4АН180S6У3	18,5	83,5	88,0	88,0	87,0	85,0	0,47	0,72	0,81	0,85	0,85
4АН180М6У3	22,0	86,0	89,5	89,5	88,5	86,5	0,56	0,77	0,84	0,87	0,87
4АН200М6У3	30,0	88,5	91,0	91,0	90,0	88,0	0,60	0,80	0,86	0,88	0,88
4АН200L6У3	37,0	87,5	91,0	91,0	90,5	89,0	0,58	0,78	0,85	0,88	0,88
4АН225М6У3	40,0	89,5	92,0	92,0	91,0	89,0	0,62	0,80	0,85	0,87	0,86
4АН250S6У3	55,0	88,5	92,5	93,0	92,5	91,5	0,57	0,77	0,84	0,87	0,87
4АН250М6У3	75,0	90,0	93,0	93,0	93,0	92,0	0,57	0,78	0,84	0,87	0,87
4АН280S6У3	90,0	92,5	94,0	93,5	92,5	90,5	0,70	0,85	0,88	0,89	0,87
4АН280М6У3	110,0	93,0	94,0	93,5	92,5	90,5	0,70	0,85	0,88	0,89	0,87
4АН315S6У3	132,0	93,5	94,5	94,0	93,0	91,0	0,75	0,87	0,89	0,89	0,85
4АН315М6У3	160,0	94,0	95,0	94,5	93,5	91,5	0,75	0,87	0,89	0,89	0,85
4АН355S6У3	200,0	94,0	95,0	95,0	94,0	92,0	0,76	0,88	0,90	0,90	0,87
4АН355М6У3	250,0	94,0	95,0	94,5	94,0	92,5	0,75	0,88	0,90	0,90	0,87
Синхронная частота вращения 750 об/мин											
4АН180S8У3	15,0	82,0	86,5	87,0	86,0	83,5	0,44	0,66	0,76	0,80	0,81
4АН180М8У3	18,5	84,5	88,5	88,5	87,5	85,0	0,47	0,69	0,77	0,88	0,80
4АН200М8У3	22,0	88,0	91,0	90,5	89,0	86,0	0,54	0,75	0,82	0,84	0,83

4АН200L8У3	30,0	87,0	90,5	90,5	89,5	0,50	0,49	0,71	0,79	0,82	0,82
4АН225М8У3	37,0	87,5	91,0	91,0	90,0	88,0	0,48	0,70	0,78	0,81	0,81
4АН250S8У3	45,0	88,0	91,5	91,5	91,0	89,5	0,47	0,68	0,77	0,81	0,80
4АН250М8У3	55,0	89,5	92,5	92,5	92,0	90,5	0,49	0,70	0,78	0,85	0,82
4АН280S8У3	75,0	91,5	93,5	93,0	92,0	90,0	0,58	0,77	0,83	0,86	0,83
4АН280М8У3	90,0	93,0	94,0	93,5	92,5	90,0	0,62	0,80	0,84	0,86	0,83
4АН315S8У3	110,0	92,5	94,0	94,0	93,0	91,0	0,64	0,81	0,85	0,86	0,82
4АН315М8У3	132,0	93,0	94,5	94,0	93,0	91,0	0,65	0,81	0,85	0,86	0,82
4АН355S8У3	160,0	94,0	95,0	94,5	93,5	91,5	0,67	0,83	0,86	0,86	0,82
4АН355М8У3	200,0	94,5	95,5	95,0	94,0	92,0	0,70	0,84	0,86	0,86	0,81
Синхронная частота вращения 600 об/мин											
4АН280S10У3	45,0	88,5	91,0	90,5	90,0	88,0	0,50	0,70	0,77	0,81	0,79
4АН280М10У3	55,0	88,5	91,0	91,0	90,5	88,5	0,50	0,70	0,77	0,81	0,79
4АН315S10У3	75,0	91,0	92,5	92,0	91,0	88,5	0,59	0,76	0,81	0,82	0,78
4АН315М10У3	90,0	91,0	93,0	92,5	91,5	89,5	0,59	0,76	0,80	0,82	0,79
4АН355S10У3	110,0	91,5	93,0	92,5	92,0	90,5	0,57	0,75	0,82	0,83	0,81
4АН355М10У3	132,0	92,0	93,5	93,0	92,5	91,0	0,59	0,77	0,82	0,83	0,81
Синхронная частота вращения 500 об/мин											
4АН315S12У3	55,0	91,0	93,0	92,0	90,5	86,0	0,53	0,72	0,77	0,78	0,71
4АН315М12У3	75,0	89,5	91,5	91,5	91,0	89,0	0,46	0,67	0,74	0,78	0,76
4АН355S12У3	90,0	80,0	87,5	90,0	91,5	92,0	0,16	0,32	0,44	0,77	0,61
4АН355М12У3	110,0	80,0	87,5	90,5	92,0	92,0	0,15	0,30	0,43	0,77	0,59

86. Технические данные асинхронных электродвигателей серии 4А с повышенным пусковым моментом

Тип	$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин	$I_н$, А, при $U_н$=380 В	$\eta_н$, %	$\cos\varphi_н$	$\frac{I_{пуск}}{I_н}$	$\frac{M_{пуск}}{M_н}$	$\frac{M_{мин}}{M_н}$	$\frac{M_{макс}}{M_н}$	Момент инерции, кг·м²
Синхронная частота вращения 1500 об/мин										
4АР160S4У3	15,0	1465	29,6	87,5	0,87	7,5	2,0	1,6	2,2	0,102
4АР160М4У3	18,5	1465	36,1	88,5	0,87	7,5	2,0	1,6	2,2	0,127
4АР180S4У3	22,0	1460	42,2	90,0	0,87	7,5	2,0	1,6	2,2	0,19
4АР180М4У3	30,0	1460	57,5	90,0	0,87	7,5	2,0	1,6	2,2	0,232
4АР200М4У3	37,0	1470	69,5	91,0	0,88	7,5	2,0	1,6	2,2	0,365
4АР200L4У3	45,0	1470	83,5	92,0	0,88	7,5	2,0	1,6	2,2	0,445
4АР225М4У3	55,0	1475	101,0	92,5	0,88	7,0	2,0	1,6	2,2	0,64
4АР250S4У3	75,0	1475	139,0	93,0	0,87	7,5	2,0	1,6	2,2	1,02
4АР250М4У3	90,0	1475	165,0	93,0	0,88	7,5	2,0	1,6	2,2	1,17
Синхронная частота вращения 1000 об/мин										
4АР160S6У3	11,0	975	23,5	85,5	0,83	7,0	2,0	1,6	2,2	0,55
4АР160М6У3	15,0	975	31,4	87,5	0,83	7,0	2,0	1,6	2,2	0,73
4АР180М6У3	18,5	970	40,4	87,0	0,80	6,0	2,0	1,6	2,2	0,88
4АР200М6У3	22,0	975	43,4	90,5	0,85	6,5	2,0	1,6	2,2	1,6
4АР200L6У3	30,0	975	58,5	90,5	0,86	6,5	2,0	1,6	2,2	1,81
4АР225М6У3	37,0	980	73,8	90,5	0,84	7,0	2,0	1,6	2,2	2,95
4АР250S6У3	45,0	980	91,0	91,5	0,82	6,5	2,0	1,6	2,2	4,62
4АР250М6У2	55,0	980	110,0	91,5	0,83	6,5	2,0	1,6	2,2	5,04
Синхронная частота вращения 750 об/мин										
4АР160S8У3	7,5	730	17,6	86,0	0,75	6,0	1,8	1,5	2,0	0,55
4АР160М8У3	11,0	730	25,6	87,0	0,75	6,0	1,8	1,5	2,0	0,72
4АР180М8У3	15,0	730	34,2	86,5	0,77	5,5	1,8	1,5	2,0	1,0

4AP200M8У3	18,5	730	41,0	88,0	0,78	5,5	1,8	1,5	2,0	1,6
4AP200L8У3	22,0	730	47,3	88,5	0,80	5,5	1,8	1,5	2,0	1,81
4AP225M8У3	30,0	735	63,4	90,0	0,80	5,5	1,8	1,5	2,0	2,95
4AP250S8У3	37,0	735	87,0	90,0	0,72	5,5	1,8	1,5	2,0	4,62
4AP250M8У3	45,0	735	101,0	90,5	0,75	5,5	1,8	1,5	2,0	5,45

87. Технические данные асинхронных электродвигателей серии 4A с повышеным скольжением при номинальной ПВ = 40 %

Тип	$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин	$I_н$, А, при $U_н$=380 В	$\eta_н$, %	$\cos \varphi_н$	$\frac{I_{пуск}}{I_н}$	$\frac{M_{пуск}}{M_н}$	$\frac{M_{мин}}{M_н}$	$\frac{M_{макс}}{M_н}$	Момент инерции, кг м²
Синхронная частота вращения 3000 об/мин										
4AC71A2AУ	1,0	2700	2,4	72,0	0,87	5,5	2,0	1,6	2,2	$9,8\times10^{-4}$
4AC71B2У3	1,2	2700	3,0	72,0	0,83	5,5	2,0	1,6	2,2	10×10^{-4}
4AC80A2У3	1,9	2745	4,4	75,0	0,87	6,5	2,0	1,6	2,2	18×10^{-4}
4AC80B2У3	2,5	2745	5,7	76,0	0,87	6,5	2,0	1,6	2,2	$0,4\times10^{-2}$
4AC90L2У3	3,5	2775	7,7	80,0	0,86	6,5	2,0	1,6	2,2	$0,6\times10^{-2}$
4AC100S2У3	4,8	2805	10,3	82,0	0,86	7,5	2,0	1,6	2,2	
4AC100L2У3	6,3	2805	13,4	82,0	0,86	7,5	2,0	1,6	2,2	$0,8\times10^{-2}$
4AC112M2У3	8,0	2850	17,2	84,0	0,84	7,5	2,0	1,6	2,4	$1,0\times10^{-2}$
4AC132M2У3	11,0	2840	24,0	84,0	0,89	7,5	2,0	1,6	2,4	$2,3\times10^{-2}$
Синхронная частота вращения 1500 об/мин										
4AC71A4У3	0,6	1350	1,8	86,0	0,73	4,5	2,0	1,6	2,2	$13,0\times10^{-4}$
4AC71B4У3	0,8	1350	2,4	68,5	0,75	4,5	2,0	1,6	2,2	$14,2\times10^{-4}$
4AC80A4У3	1,3	1358	3,5	68,5	0,82	5,0	2,0	1,6	2,2	$0,3\times10^{-2}$
4AC80B4У3	1,7	1335	4,5	70,0	0,82	5,0	2,0	1,6	2,2	$0,33\times10^{-2}$
4AC90L4У3	2,4	1360	5,9	76,0	0,82	6,0	2,0	1,6	2,2	$0,55\times10^{-2}$
4AC100S4У3	3,2	1395	7,8	76,5	0,82	6,0	2,0	1,6	2,2	$0,87\times10^{-2}$

Продолжение табл. 87

Тип	$P_н$, кВт	$W_н$, об/мин	$I_н$, А при $U_н$=380В	η, %	$\cos\varphi_н$	$\frac{I_{пуск}}{I_н}$	$\frac{M_{пуск}}{M_н}$	$\frac{M_{мин}}{M_н}$	$\frac{M_{макс}}{M_н}$	Момент инерции, кг м²
4АС160L4У3	4,25	1395	10,1	78,0	0,82	6,0	2,0	1,6	2,2	$1,1\times10^{-2}$
4АС112М4У3	5,6	1395	13,0	79,0	0,83	7,0	2,0	1,6	2,2	$1,7\times10^{-2}$
4АС132S4У3	8,5.	1395	18,4	82,5	0,85	7,0	2,6	1,6	2,8	$2,8\times10^{-2}$
4АС132М4У3	11,8	1410	25,0	84,0	0,85	7,0	2,0	1,6	2,2	$4,0\times10^{-3}$
4АС160S4У3	17,0	1425	33,3	84,5	0,86	7,0	2,0	1,6	2,2	$11,0\times10^{-2}$
4АС160М4У3	20,0	1432	37,6	87,0	0,87	7,0	2,0	1,6	2,2	$12,3\times10^{-2}$
4АС180S4У3	21,0	1418	40,3	86,0	0,92	7,0	2,0	1,6	2,2	$10,8\times10^{-2}$
4АС180М4У3	26,5	1440	50,0	88,5	0,91	7,0	2,0	1,6	2,2	$23,0\times10^{-2}$
4АС200М4У3	31,5	1410	59,4	87,5	0,92	7,0	2,0	1,6	2,2	0,37
4АС200L4У3	40,0	1410	73,5	89,0	0,93	7,0	2,0	1,6	2,2	0,45
4АС225М4У3	50,0	1395	94,3	87,5	0,92	7,0	2,0	1,6	2,2	0,64
4АС250S4У3	56,0	1380	106,0	87,5	0,92	7,0	2,0	1,6	2,2	1,0
4АС250М4У3	63,0	1365	118,0	87,0	0,93	7,0	2,0	1,6	2,2	1,17
Синхронная частота вращения 1000 об/мин										
4АС71А6У3	0,4	920	1,4	62,5	0,70	4,0	2,0	1,6	2,1	$1,7\times10^{-4}$
4АС71В6У3	0,63	920	2,2	65,0	0,70	4,0	2,0	1,6	2,1	$20,3\times10^{-4}$
4АС80А6У3	0,8	860	2,9	61,0	0,68	4,0	2,0	1,6	2,1	$0,34\times10^{-2}$
4АС80В6У3	1,2	860	3,7	66,5	0,73	4,0	2,0	1,6	2,1	$0,35\times10^{-2}$
4АС90L6У3	1,7	900	5,0	71,0	0,72	6,0	1,9	1,6	2,1	$0,74\times10^{-2}$
4АС100L6У3	2,6	920	6,9	75,0	0,76	6,0	1,9	1,6	2,1	$1,3\times10^{-2}$
4АС112МА6У3	3,2	910	9,1	72,0	0,74	6,5	1,9	1,6	2,1	$1,7\times10^{-2}$
4АС112МВ6У3	4,2	910	10,8	75,0	0,79	6,5	1,9	1,6	2,1	$2,1\times10^{-2}$
4АС132S6У3	6,3	940	15,1	79,0	0,80	6,5	1,9	1,5	2,1	$4,0\times10^{-2}$
4АС132М6У3	8,5	940	20,2	80,0	0,80	6,5	1,9	1,5	2,1	$5,6\times10^{-2}$
4АС160S6У3	12,0	940	26,0	82,5	0,85	6,5	1,9	1,5	2,1	$13,8\times10^{-2}$
4АС160М6У3	16,0	940	36,1	84,0	0,85	6,5	1,9	1,5	2,1	$18,3\times10^{-2}$

4АС180М6У3	19,0	940	39,9	84,5	0,90	6,5	1,9	1,5	2,1	$22,0\times10^{-2}$
4АС200М6У3	22,0	910	43,5	83,5	0,92	6,5	1,9	1,5	2,1	0,4
4АС200L6У3	28,0	920	54,6	85,5	0,91	6,5	1,9	1,5	2,1	0,45
4АС225М6У3	33,5	880	69,0	81,0	0,91	6,5	1,9	1,5	2,1	0,74
4АС250S6У3	40,0	950	75,8	89,0	0,90	6,5	1,9	1,5	2,1	1,15
4АС250М6У3	45,0	950	90,0	86,5	0,88	6,5	1,9	1,5	2,1	1,26
Синхронная частота вращения 750 об/мин										
4АС71В8У3	0,3	670	1,5	50,0	0,61	3,5	1,9	1,6	2,0	$18,5\times10^{-4}$
4АС80А8У3	0,45	660	2,1	53,5	0,61	3,5	1,9	1,6	2,0	$0,34\times10^{-2}$
4АС80В8У3	0,6	660	2,5	58,0	0,63	3,5	1,9	1,6	2,0	$0,4\times10^{-2}$
4АС90LА8У3	0,9	660	3,4	61,0	0,65	3,5	1,8	1,6	2,0	$0,7\times10^{-2}$
4АС90LВ8У3	1,2	660	4,4	65,0	0,64	3,5	1,8	1,6	2,0	$0,86\times10^{-2}$
4АС100L8У3	1,6	675	5,7	69,0	0,63	5,5	1,8	1,6	2,0	$1,3\times10^{-4}$
4АС112МА8У3	2,2	670	7,56	68,0	0,65	6,0	1,8	1,6	2,0	$1,8\times10^{-2}$
4АС112МВ8У3	3,2	670	9,66	72,0	0,70	6,0	1,8	1,6	2,0	$2,4\times10^{-2}$
4АС132S8У3	4,5	690	12,9	76,0	0,70	6,0	1,8	1,6	2,0	$4,3\times10^{-2}$
4АС132М8У3	6,0	690	16,9	77,0	0,70	6,0	1,8	1,6	2,0	$6,0\times10^{-2}$
4АС160S8У3	9,0	690	21,0	81,5	0,80	6,0	1,8	1,5	2,0	$13,8\times10^{-2}$
4АС160М8У3	12,5	688	29,2	82,5	0,79	6,0	1,8	1,5	2,0	$18,0\times10^{-2}$
4АС180М8У3	15,0	700	32,0	83,5	0,83	6,0	1,8	1,5	2,0	0,25
4АС200М8У3	20,0	690	43,0	83,5	0,85	6,0	1,8	1,5	2,0	0,4
4АС225М8У3	26,5	675	57,3	83,0	0,85	6,0	1,8	1,5	2,0	0,75
4АС250S8У3	36,0	694	76,0	85,0	0,85	6,0	1,8	1,5	2,0	1,16

88. Номинальные мощности (кВт) асинхронных электродвигателей серии 4А с повышенным скольжением

Тип	Синхронная частота вращения, об/мин															
	3000				1500				1000				750			
	Продолжительность включения ПВ, %															
	15	25	60	100	15	25	60	100	15	25	60	100	15	25	60	100
4АС71А	1,20	1,06	0,95	0,85	0,80	0,65	0,60	0,60	0,45	0,40	0,40	0,40	—	—	—	—
4АС71В	1,50	1,30	1,10	0,90	1,10	0,90	0,80	0,70	0,80	0,65	0,65	0,50	0,35	0,30	0,30	0,20
4АС80А	2,40	1,90	1,70	1,50	1,60	1,30	1,10	0,95	1,00	0,90	0,90	0,50	0,35	0,50	0,45	0,35
4АС80В	3,20	2,70	2,20	2,00	2,10	1,70	1,50	1,30	1,50	1,30	1,10	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40
4АС90А	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,10	0,90	0,80	0,70
4АС90В	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,10	1,20	1,00	0,80
4АС90L	4,60	4,00	3,20	2,70	3,10	2,40	2,20	1,90	2,20	1,80	1,30	1,10	—	—	—	—
4АС100S	5,50	5,00	4,20	3,60	4,00	3,70	2,80	2,30	—	—	—	—	—	—	—	—
4АС100L	8,00	7,00	5,80	5,30	5,50	5,00	3,80	3,30	3,10	2,90	2,20	1,80	1,80	1,60	1,50	1,20
4АС112МА	—	—	—	—	—	—	—	—	4,50	3,80	2,80	2,50	3,00	2,60	1,90	1,50
4АС112МВ	11,00	9,50	7,10	6,00	8,00	6,70	5,00	4,20	5,60	5,00	3,80	3,20	4,20	3,60	2,50	1,90
4АС132S	—	—	—	—	11,80	9,50	7,50	7,10	8,50	7,50	6,00	4,50	6,00	5,00	3,60	2,60
4АС132М	17,00	14,00	11,00	10,0	16,0	14,00	10,50	9,00	11,00	10,00	7,50	6,30	8,50	7,10	5,00	3,60
4АС160S	—	—	—	—	22,0	19,00	15,00	13,00	16,00	14,00	11,00	10,00	11,00	10,00	8,00	7,00
4АС160М	—	—	—	—	25,0	23,00	18,00	17,00	21,00	19,00	15,00	13,00	16,00	14,00	11,0	10,00
4АС180S	—	—	—	—	26,5	24,00	20,00	19,00	—	—	—	—	—	—	—	—
4АС180М	—	—	—	—	32,0	30,00	25,00	24,00	22,00	20,00	17,00	16,00	19,00	17,00	14,00	13,00
4АС200М	—	—	—	—	42,0	35,00	28,00	26,00	28,00	25,00	20,00	18,00	26,50	24,00	19,00	16,00
4АС200L	—	—	—	—	50,0	47,50	37,00	35,00	40,00	33,00	25,00	23,00	—	—	—	—
4АС225S	—	—	—	—	63,0	55,00	45,00	40,00	40,00	35,00	28,00	25,00	33,50	30,00	24,00	22,00
4АС250S	—	—	—	—	75,0	63,00	53,00	50,00	56,00	45,00	36,00	33,50	45,00	45,00	30,00	26,50
4АС250М	—	—	—	—	80,0	71,00	60,00	56,00	60,00	53,00	40,00	36,00	—	—	—	—

89. Технические данные асинхронных многоскоростных двигателей серии 4А

Тип	$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин	$I_н$, А, при $U_н$ = 380 В	$\eta_н$, %	$\cos \varphi_н$	$\frac{I_{пуск}}{I_н}$	$\frac{M_{пуск}}{M_н}$	$\frac{M_{мин}}{M_н}$	$\frac{M_{макс}}{M_н}$	Момент инерции, кг м²
Двухскоростные двигатели Синхронные частоты вращения 1500/3000 об/мин. Схема соединения обмотки Δ/YY										
4А56А4/2У3	0,1 0,1	1400 2800	0,55 0,61	45,0 50,0	0,61 0,70	3,5 4,0	1,8 1,5	1,8 1,5	2,2 2,2	7×10^{-4}
4А56В4/2У3	0,12 0,18	1330 2660	0,6 0,67	49,0 57,0	0,62 0,72	3,5 4,0	1,6 1,2	1,6 1,2	2,2 2,2	8×10^{-4}
4А63А4/2У3	0,19 0,265	1448 2880	0,8 0,88	55,0 61,0	0,66 0,75	3,5 4,0	1,6 1,2	1,6 1,2	2,2 2,2	$12{,}5 \times 10^{-4}$
4А63В4/2У3	0,224 0,37	1448 2880	0,86 1,05	57,0 61,0	0,70 0,88	3,5 4,0	1,5 1,1	1,5 1,1	1,9 1,8	$13{,}5 \times 10^{-4}$
4А71А4/2У3	0,45 0,75	1420 2880	1,74 2,0	64,0 67,0	0,73 0,89	4,0 4,0	1,5 1,2	1,5 1,2	1,8 1,8	$14{,}3 \times 10^{-4}$
4А71В4/2У3	0,63 0,95	1433 2865	2,2 2,6	67,0 69,0	0,75 0,89	4,5 4,5	1,3 1,3	1,3 1,3	1,9 1,9	16×10^{-4}
4А80А4/2У3	1,1 1,5	1420 2780	2,9 3,56	73,0 72,0	0,79 0,89	5,0 4,0	1,7 1,5	1,3 0,9	2,0 1,8	$0{,}32 \times 10^{-2}$
4А90LА4/2У3	1,5 2,0	1420 2780	3,7 4,8	76,0 74,0	0,81 0,86	5,5 5,0	1,7 1,7	1,3 1,1	2,1 1,9	$0{,}36 \times 10^{-2}$
4А90LВ4/2У3	2,0 2,5	1420 2850	4,6 5,6	77,0 77,0	0,86 0,89	6,0 6,0	1,7 1,8	1,2 1,1	2,2 2,1	$0{,}64 \times 10^{-2}$

Тип	$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин	$I_н$, А, при $U_н$ = 380 В	$\eta_н$, %	$\cos \varphi_н$	$\frac{I_{пуск}}{I_н}$	$\frac{M_{пуск}}{M_н}$	$\frac{M_{мин}}{M_н}$	$\frac{M_{макс}}{M_н}$	Момент инерции, кг м²
4А100S4/2У3	2,65 3,4	1440 2820	6,15 7,4	80,0 77,0	0,82 0,91	6,0 6,0	1,8 1,8	1,3 1,3	2,2 2,2	$0,9\times10^{-2}$
4А112М4/2У3	4,2 5,0	1450 2901	9,0 11,0	82,0 77,0	0,84 0,89	7,5 7,5	1,3 1,1	1,0 0,8	1,8 1,8	$1,65\times10^{-2}$
4А132S4/2У3	6,0 6,7	1460 2910	12,0 14,0	84,0 78,0	0,87 0,90	7,5 7,5	1,3 1,1	1,0 0,8	1,8 1,8	$2,8\times10^{-2}$
4А132М4/2У3	8,5 9,5	1460 2910	17,0 20,0	86,0 81,0	0,88 0,90	7,5 7,5	1,3 1,1	1,0 0,8	1,8 1,8	4×10^{-2}
4А160S4/2У3	11,0 14,0	1460 2940	23,2 27,9	85,0 83,0	0,85 0,92	7,5 7,5	1,5 1,2	1,0 0,8	2,1 2,0	11×10^{-2}
4А160М4/2У3	14,0 17,0	1460 2900	28,1 33,5	87,0 84,0	0,87 0,92	7,5 7,5	1,5 1,2	1,0 0,8	2,1 2,0	$13,5\times10^{-2}$
4А180S 4/2У3	18,0 21,0	1470 2920	34,4 40,4	88,5 85,0	0,90 0,93	6,5 6,5	1,3 1,1	1,0 0,8	1,8 1,8	21×10^{-2}
4А180М4/2У3	22,0 26,5	1470 2920	41,3 50,5	90,0 86,0	0,90 0,93	7,5 7,0	1,3 1,1	1,0 0,8	1,8 1,8	0,25
4А200L4/2У3	33,5 37,0	1477 2955	64,4 72,7	91,0 87,0	0,87 0,89	7,0 7,5	1,8 1,8	1,4 1,0	2,0 2,2	0,58
4А225М4/2У3	42,5 45,0	1477 2955	82,5 91,3	92,0 86,0	0,85 0,87	7,0 7,5	1,8 1,8	1,4 1,0	2,0 2,2	0,85
4А250S4/2У3	50,0 60,0	1477 2955	95,2 118	93,0 87,0	0,86 0,89	6,5 7,0	1,8 1,6	1,4 0,8	2,0 2,2	1,3

4А250М4/2У3	60,0 71,0	1477 2955	114 136	93,0 88,0	0,87 0,90	6,5 7,0	1,8 1,6	1,4 0,8	2,0 2,2	1,5
Синхронные частоты вращения 750/1500 об/мин. Схема соединения обмотки Δ/YY										
4А100S8/4У3	1,0 1,7	700 1430	3,67 3,72	68,0 80,0	0,61 0,87	5,0 6,0	1,2 1,4	1,1 1,1	1,8 1,9	$1,2\times10^{-2}$
4А100L8/4У3	1,4 2,4	700 1430	5,0 5,07	69,0 81,0	0,62 0,89	5,0 6,0	1,2 1,2	1,1 1,1	1,8 1,8	$1,45\times10^{-2}$
4А112МА8/4У3	1,9 3,0	710 1420	5,7 6,8	72,0 75,0	0,71 0,89	7,5 7,5	1,2 1,0	1,0 0,8	1,8 1,8	$1,73\times10^{-2}$
4А112МВ8/4У3	2,2 3,6	710 1430	6,5 8,1	75,0 77,0	0,69 0,88	7,5 7,5	1,2 1,0	1,0 0,8	1,8 1,8	$2,4\times10^{-2}$
4А132S8/4У3	3,2 5,3	720 1440	8,9 11,0	77,0 80,0	0,71 0,90	7,5 7,5	1,2 1,0	1,0 0,8	1,8 1,8	$4,2\times10^{-2}$
4А132М8/4У3	4,2 7,1	720 1440	11,0 14,0	80,0 82,0	0,72 0,90	7,5 7,5	1,2 1,0	1,0 0,8	1,8 1,8	$5,8\times10^{-2}$
4А160S8/4У3	6,0 9,0	740 1460	12,0 17,7	76,5 84,0	0,69 0,92	5,5 7,0	1,5 1,2	1,0 0,8	2,0 2,0	$14,6\times10^{-2}$
4А160М8/4У3	9,0 13,0	730 1460	25,1 25,1	79,0 86,5	0,69 0,91	5,5 7,0	1,5 1,2	1,0 0,8	2,0 2,0	$19,5\times10^{-2}$
4А180М8/4У3	13,0 18,0	730 1455	30,8 34,2	84,5 87,5	0,76 0,92	5,5 6,5	1,2 1,0	1,0 0,8	1,8 1,8	0,28
4А200М8/4У3	17,0 25,0	735 1470	40,0 48,0	86,0 87,0	0,75 0,91	5,0 6,0	1,4 1,4	1,2 1,0	1,8 2,0	0,52
4А200L8/4У3	20,0 28,0	735 1470	45,5 53,3	87,0 88,0	0,77 0,91	5,0 6,0	1,4 1,4	1,2 1,0	1,8 2,0	0,58

Продолжение табл. 89

Тип	$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин	$I_н$, А, при $U_н$ = 380 В	$\eta_н$, %	$\cos \varphi_н$	$I_{пуск}/I_н$	$M_{пуск}/M_н$	$M_{мин}/M_н$	$M_{макс}/M_н$	Момент инерции, кг·м²
4А225М8/4У3	22,4 33,5	739 1478	56,6 67,0	87,0 87,0	0,69 0,88	6,0 7,0	2,0 1,5	1,0 1,2	2,2 2,2	0,93
4А250S8/4У3	30,0 45,0	739 1478	68,0 86,0	89,5 88,5	0,75 0,90	5,0 6,0	1,6 1,4	1,2 1,0	1,8 1,9	1,7
4А250М8/4У3	37,0 55,0	739 1478	84,0 104,0	89,5 89,5	0,75 0,90	6,0 6,5	1,8 1,5	1,2 1,2	1,8 2,0	1,8
4А280М8/4У3	55,0 75,0	739 1475	113 137,5	91,3 90,6	0,81 0,91	6,0 6,5	1,3 1,3	1,0 0,8	2,3 2,5	3,4
4А315S8/4У3	75,0 90,0	731 1475	148 158	90,8 91,3	0,85 0,94	5,0 6,0	1,3 1,3	1,0 0,8	1,8 2,3	4,0
4А315М8/4У3	90,0 110,0	733 1475	175 190	91,6 91,9	0,85 0,95	5,0 6,0	1,1 1,3	1,0 0,8	1,8 2,3	4,5
4А355S8/4У3	110,0 160,0	740 1480	121,5 157,5	92,6 92,3	0,83 0,96	5,0 7,0	1,4 1,6	1,0 0,8	2,0 2,6	7,9
4А355М8/4У3	132,0 200,0	740 1480	147 200	93,2 92,8	0,84 0,94	5,0 7,0	1,3 1,8	1,0 0,8	1,9 2,5	8,9
Синхронные частоты вращения 1000/1500 об/мин. Две независимые обмотки. Схема соединения обмотки YYY/YYY										
4А100S6/4У3	1,8 2,1	1000 1500	5,07 4,75	77,0 78,0	0,70 0,86	6,0 6,0	1,8 1,7	1,6 1,2	2,2 1,9	$0,92 \times 10^{-2}$
4А100L6/4У3	2,5 2,8	1000 1500	6,67 6,1	80,0 80,0	0,73 0,87	6,0 6,0	1,8 1,7	1,6 1,2	2,2 1,9	$1,15 \times 10^{-2}$

4A112M6/4У3	2,8 3,2	950 1420	8,2 7,4	76,0 76,0	0,68 0,86	7,5 7,5	1,3 1,3	1,0 0,8	1,8 1,8	$1,65\times10^{-2}$
4A132S6/4У3	4,0 4,5	950 1420	11,0 10,0	80,0 79,0	0,68 0,85	7,5 7,5	1,3 1,3	1,0 0,8	1,8 1,8	$2,8\times10^{-2}$
4A132M6/4У3	6,0 6,2	960 1440	16,0 14,0	83,0 81,5	0,68 0,85	7,5 7,5	1,3 1,3	1,0 0,8	1,8 1,8	4×10^{-2}
Синхронные частоты вращения 750/1500 об/мин. Две независимые обмотки. Схема соединения обмотки YY/Δ										
4A160S6/4У3	7,1 8,5	980 1470	16,0 17,7	82,0 82,0	0,82 0,89	6,5 7,0	1,4 1,3	1,0 0,8	2,2 2,2	15×10^{-2}
4A160M6/4У3	11,0 13,0	980 1470	24,1 26,4	83,5 83,5	0,83 0,90	6,5 7,5	1,4 1,3	1,0 0,8	2,2 2,2	20×10^{-2}
Синхронные частоты вращения 750/1000 об/мин. Две независимые обмотки. Схема соединения обмотки Y/Y										
4A100S8/6У3	0,7 0,9	750 1000	2,9 2,6	65,0 74,0	0,56 0,71	4,0 5,0	1,6 1,2	1,5 1,1	2,0 1,8	$1,18\times10^{-2}$
4A100L8/6У3	1,0 1,3	750 1000	3,7 3,41	65,0 76,0	0,63 0,76	4,0 5,0	2,0 1,5	1,8 1,2	2,0 1,8	$1,45\times10^{-2}$
4A112MA8/6У3	1,1 1,3	690 930	3,5 3,5	65,0 69,0	0,74 0,81	7,5 7,5	1,2 1,2	1,0 0,8	1,8 1,8	$1,75\times10^{-2}$
4A112MB8/6У3	1,4 1,7	690 940	4,2 4,5	66,5 71,0	0,76 0,81	7,5 7,5	1,2 1,2	1,0 0,8	1,8 1,8	$2,1\times10^{-2}$
4A132S8/6У3	2,4 2,6	710 970	6,9 6,9	73,0 75,5	0,72 0,76	7,5 7,5	1,2 1,2	1,0 0,8	1,8 1,8	4×10^{-2}
4A132M8/6У3	2,8 3,2	720 970	7,9 8,3	75,0 76,5	0,72 0,76	7,5 7,5	1,2 1,2	1,0 0,8	1,8 1,8	$5,7\times10^{-2}$

Продолжение табл. 89

Тип	$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин	$I_н$, А, при $U_н$ = 380 В	$\eta_н$, %	$\cos\varphi_н$	$\frac{I_{пуск}}{I_н}$	$\frac{M_{пуск}}{M_н}$	$\frac{M_{мин}}{M_н}$	$\frac{M_{макс}}{M_н}$	Момент инерции, кг м²
4А160S8/6У3	5,3 6,0	725 975	14,3 14,5	75,0 78,0	0,75 0,81	5,0 6,5	1,2 1,2	1,0 0,8	1,9 2,0	15×10^{-2}
4А160М8/6У3	7,5 8,5	730 980	19,9 21,5	79,5 80,0	0,72 0,75	5,0 6,0	1,2 1,2	1,0 0,8	1,9 2,0	20×10^{-2}
4А180М8/6У3	10,0 11,8	735 980	28,7 26,4	80,0 83,0	0,66 0,82	5,5 6,0	1,4 1,2	1,0 1,0	2,0 2,0	0,28
4А200М8/6У3	15,0 18,0	735 985	33,0 31,8	83,5 83,5	0,72 0,84	5,5 6,5	1,4 1,2	1,0 1,0	2,2 2,2	0,5
4А200L8/6У3	15,0 18,0	739 985	36,3 37,7	85,0 85,5	0,74 0,85	5,5 6,5	1,4 1,2	1,0 1,0	2,0 2,2	0,58
4А225М8/6У3	18,5 20,0	735 985	43,3 45,8	84,5 86,5	0,77 0,86	5,0 6,5	1,2 1,2	1,0 1,0	1,8 2,0	0,92
4А250S8/6У3	24,0 30,0	739 990	55,6 64,3	87,5 87,5	0,75 0,81	5,5 7,0	1,5 1,8	1,0 1,5	1,8 2,2	1,17
4А250М8/6У3	28,0 37,0	739 990	62,8 79,6	88,0 88,5	0,77 0,80	5,5 7,0	1,5 1,8	1,0 1,5	1,8 2,2	1,85
Синхронные частоты вращения 500/1000 об/мин. Схема соединения обмотки Δ/YY										
4А180М12/6У3	6,7 11,0	480 975	20,3 22,3	76,0 84,5	0,66 0,89	4,5 6,5	1,6 1,3	1,5 1,0	1,9 1,9	0,28
4А200М12/6У3	9,0 14,0	490 985	32,0 28,2	77,5 88,0	0,55 0,86	4,0 6,5	1,5 1,5	1,2 1,2	1,8 2,0	0,52

4А200L12/6У3	10,0 17,0	485 980	34,0 34,0	80,0 88,5	0,56 0,86	4,0 6,5	1,5 1,5	1,2 1,2	1,8 2,0	0,58
4А225М12/6У3	12,5 22,0	485 980	41,0 44,2	81,5 88,0	0,57 0,86	4,0 6,0	1,4 1,3	1,2 1,2	1,8 1,8	0,93
4А250S12/6У3	16,0 28,0	493 985	55,5 55,7	83,0 90,0	0,53 0,85	4,0 6,0	1,7 1,5	1,2 1,2	1,8 1,8	1,7
4А250М12/6У3	18,5 35,5	493 981	62,5 71,0	83,5 89,5	0,54 0,85	4,0 6,0	1,7 1,5	1,2 1,0	1,8 1,8	1,84
4А280М12/6У3	37,0 55,0	490 981	92,7 99,0	88,6 91,0	0,68 0,92	4,5 5,5	1,2 1,1	1,0 0,8	1,9 2,2	4,2
4А315S12/6У3	45,0 75,0	490 980	108,0 134,0	89,8 91,5	0,70 0,93	4,5 5,5	1,1 1,1	1,0 0,8	1,8 2,1	4,9
4А315М12/6У3	55,0 90,0	490 981	138,0 162,0	90,1 92,2	0,68 0,91	4,5 5,5	1,2 1,3	1,0 0,8	2,1 2,2	5,7
4А355S13/6У3	55,0 90,0	495 990	83,9 95,0	90,7 92,1	0,63 0,90	5,5 7,5	1,9 2,0	1,0 0,8	2,5 2,8	9,05
4А355М12/6У3	75,0 110,0	490 985	103,0 114,0	91,1 92,7	0,70 0,91	5,0 7,0	1,2 1,7	1,0 0,8	1,7 2,5	10,2

Трехскоростные двигатели

Синхронные частоты вращения 1000/1500/3000 об/мин. Две независимые обмотки. Схема соединения обмотки Y/Δ/YY

4А100S6/4/2У3	1,0 1,1 1,5	940 1425 2850	3,66 3,33 3,78	69,0 66,0 67,0	0,60 0,76 0,90	4,5 5,5 6,5	2,0 1,1 1,0	1,6 0,8 0,8	2,5 2,0 2,0	$0,92\times10^{-2}$
4А100L6/4/2У3	1,4 1,5 2,1	940 1425 2850	4,96 4,21 4,91	69,0 71,0 72,0	0,62 0,76 0,90	4,5 6,5 6,5	2,0 1,3 1,1	1,7 1,0 0,8	2,5 2,2 2,0	$1,17\times10^{-2}$

Продолжение табл 89

Тип	$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин	$I_н$, А, при $U_н = 380$ В	$\eta_н$, %	$\cos \varphi_н$	$\frac{I_{пуск}}{I_н}$	$\frac{M_{пуск}}{M_н}$	$\frac{M_{мин}}{M_н}$	$\frac{M_{макс}}{M_н}$	Момент инерции, кг м²
4А112М6/4/2У3	1,6	900	4,5	71,0	0,76	7,5	1,3	1,0	1,8	$1,67 \times 10^{-2}$
	2,2	1440	5,2	76,0	0,84	7,5	1,3	0,8	1,8	
	2,8	2880	6,6	71,0	0,90	7,5	1,1	0,8	1,8	
4А132S6/4/2У3	2,8	960	7,3	76,5	0,76	7,5	1,3	1,0	1,8	$2,8 \times 10^{-2}$
	3,6	1450	8,1	79,5	0,85	7,5	1,3	0,8	1,8	
	4,2	2900	9,9	71,5	0,90	7,5	1,1	0,8	1,8	
4А132М6/4/2У3	3,8	960	9,6	78,5	0,76	7,5	1,3	1,0	1,8	$3,0 \times 10^{-2}$
4А132М6/4/2У3	5,0	1450	11,0	81,0	0,87	7,5	1,3	0,8	1,8	
	6,0	2900	13,0	76,0	0,90	7,0	1,1	0,8	1,8	
4А16056/4/2У3	4,8	955	11,2	79,5	0,82	6,0	1,3	1,0	2,0	$11,0 \times 10^{-2}$
	5,3	1460	11,7	81,0	0,85	7,0	1,3	1,0	2,0	
	7,5	2900	16,3	76,0	0,92	7,0	1,1	1,0	2,0	
4А160М6/4/2У3	6,7	955	15,6	81,5	0,80	6,0	1,3	1,0	2,0	$13,5 \times 10^{-2}$
	7,5	1455	16,0	83,0	0,86	7,0	1,3	1,0	2,0	
	10,5	2910	21,9	78,5	0,93	7,0	1,1	1,0	2,0	

Синхронные частоты вращения 750/1500/3000 об/мин. Две независимые обмотки. Схема соединения обмотки Y/Δ/YY

Тип	$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин	$I_н$, А, при $U_н = 380$ В	$\eta_н$, %	$\cos \varphi_н$	$\frac{I_{пуск}}{I_н}$	$\frac{M_{пуск}}{M_н}$	$\frac{M_{мин}}{M_н}$	$\frac{M_{макс}}{M_н}$	Момент инерции, кг м²
4А100S8/4/2У3	0,63	705	2,8	58,0	0,59	4,0	1,5	1,4	2,0	$0,91 \times 10^{-2}$
	1,1	1425	3,33	66,0	0,76	5,5	1,1	0,8	2,0	
	1,5	2850	3,78	67,0	0,90	6,0	1,0	0,8	2,0	
4А100L8/4/2У3	0,9	705	3,23	66,0	0,64	4,0	1,5	1,0	1,8	$1,16 \times 10^{-2}$
	1,5	1425	4,21	71,0	0,76	6,5	1,3	1,0	2,2	
	2,1	2850	4,91	72,0	0,90	6,5	1,1	0,8	2,0	

4A112M8/4/2У3	1,1 1,9 2,2	700 1440 2870	3,8 4,7 5,5	65,0 72,5 67,5	0,68 0,85 0,90	6,5 7,5 7,5	1,2 1,1 1,0	1,0 0,8 0,8	1,8 1,8 1,8	$1,6\times10^{-2}$
4A132S8/4/2У3	1,8 3,0 3,6	710 1460 2920	5,0 7,2 9,1	70,0 77,5 69,0	0,65 0,82 0,87	7,5 7,5 7,5	1,2 1,1 1,0	1,0 0,8 0,8	1,8 1,8 1,8	3×10^{-2}
4A132M8/4/2У3	2,4 4,5 5,0	720 1460 2940	7,6 10,0 12,0	72,5 79,5 71,5	0,66 0,82 0,87	7,5 7,5 7,5	1,2 1,1 1,0	1,0 0,8 0,8	1,8 1,8 1,8	4×10^{-2}
4A160S 8/4/2У3	3,8 4,25 6,3	715 1470 2900	10,5 9,4 13,5	76,0 81,5 76,5	0,72 0,84 0,93	5,0 7,5 7,0	1,2 1,1 1,0	1,0 1,0 1,0	2,0 2,0 2,0	11×10^{-2}
4A160M8/4/2У3	5,0 7,1 9,5	720 1470 2900	13,8 14,7 19,3	78,0 84,5 80,5	0,71 0,87 0,93	5,0 7,5 7,5	1,2 1,1 1,0	1,0 1,0 1,0	2,0 2,0 2,0	$11,3\times10^{-2}$

Синхронные частоты вращения 750/1000/1500 об/мин. Две независимые обмотки. Схема соединения обмотки Δ/Y/YY

4A100S8/6/4У3	0,71 0,9 1,3	712 950 1425	2,94 2,96 3,48	59,0 65,0 69,0	0,62 0,71 0,82	4,0 4,5 5,0	1,4 1,4 1,4	1,0 1,0 0,8	1,9 1,9 1,9	$1,2\times10^{-2}$
4A100L8/6/4У3	0,9 1,2 1,7	712 950 1428	3,55 3,77 4,0	61,0 68,0 71,0	0,63 0,71 0,83	4,0 5,0 1,0	1,4 1,4 1,0	1,1 1,1 0,8	1,9 2,0 1,9	$1,45\times10^{-2}$
4A112MA8/6/4У3	1,6 1,0 1,5	700 950 1400	3,5 3,3 3,6	65,0 62,0 72,0	0,77 0,69 0,89	7,5 7,5 7,5	1,2 1,2 1,0	1,0 0,8 0,8	1,8 1,8 1,8	$1,7\times10^{-2}$

Продолжение табл. 89

Тип	$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин	$I_н$, А, при $U_н$ = 380 В	$\eta_н$, %	$\cos \varphi_н$	$\frac{I_{пуск}}{I_н}$	$\frac{M_{пуск}}{M_н}$	$\frac{M_{мин}}{M_н}$	$\frac{M_{макс}}{M_н}$	Момент инерции, кг м²
4А112МВ8/6/4У3	1,4 1,2 2,1	700 950 1390	4,2 4,0 5,0	68,5 63,5 71,0	0,77 0,69 0,89	7,5 7,5 7,5	1,2 1,2 1,0	1,0 0,8 0,8	1,8 1,8 1,8	$2,1\times10^{-2}$
4А132S8/6/4У3	2,2 1,9 3,2	720 960 1420	5,7 5,9 7,3	73,5 69,5 74,0	0,77 0,72 0,90	7,5 7,5 7,5	1,2 1,2 1,0	1,0 0,8 0,8	1,8 1,8 1,8	$11,5\times10^{-2}$
4А132М8/6/4У3	2,8 2,6 4,5	720 960 1420	7,6 7,3 9,8	75,0 72,5 75,5	0,78 0,72 0,90	7,5 7,5 7,5	1,2 1,2 1,0	1,0 0,8 0,8	1,8 1,8 1,8	6×10^{-2}
4А160S8/6/4У3	4,0 4,5 7,5	780 980 1450	13,0 12,0 15,7	74,5 76,0 80,5	0,63 0,75 0,90	5,5 6,0 6,0	1,2 1,2 1,0	1,0 0,8 0,8	2,0 2,0 2,0	15×10^{-2}
4А160М8/6/4У3	5,0 6,3 10,0	735 980 1450	16,1 17,0 20,6	76,5 77,0 82,0	0,62 0,73 0,90	5,0 6,0 6,5	1,2 1,2 1,0	1,0 0,8 0,8	2,0 2,0 2,0	20×10^{-2}
4А180М8/6/4У3	8,0 10,0 12,5	735 985 1420	21,4 22,5 25,0	78,0 83,5 83,0	0,73 0,81 0,92	6,5 6,5 6,5	1,3 1,2 1,0	1,0 1,0 0,8	1,9 2,0 1,9	0,28
4А200М8/6/4У3	11,0 12,0 18,5	739 990 1478	29,6 28,0 36,4	82,0 82,5 85,0	0,69 0,70 0,91	6,0 7,0 7,5	1,6 1,2 1,2	1,0 1,0 1,0	2,0 2,0 2,0	0,52
4А200L8/6/4У3	14,0 15,0 21,0	739 980 1478	36,7 33,0 40,6	83,0 85,5 85,5	0,70 0,81 0,92	6,0 7,0 7,5	1,6 1,2 1,2	1,0 1,0 1,0	2,0 2,0 2,0	0,58

4А225М8/6/4У3	17,0	730	39,6	86,0	0,76	6,0	1,6	1,0	2,0	0,93
	18,5	990	38,6	86,0	0,85	7,0	1,2	1,0	2,0	
	25,0	1478	47,8	86,5	0,92	7,5	1,2	1,0	2,0	
4А250S8/6/4У3	20,0	717	45,0	88,0	0,77	6,5	1,8	1,0	2,0	1,7
	22,0	990	52,2	85,5	0,75	7,5	1,5	1,4	2,0	
	30,0	1435	56,8	87,0	0,92	7,5	1,5	1,1	2,0	
4А250М8/6/4У3	25,0	717	62,0	86,5	0,71	7,0	1,8	1,0	2,2	1,85
	28,0	990	59,4	87,5	0,82	6,5	1,5	1,4	2,0	
	37,0	1435	72,5	86,5	0,90	7,5	1,5	1,1	2,2	

Четырехскоростные двигатели

Синхронные частоты вращения 500/750/1000/1500 об/мин. Две независимые обмотки. Схема соединения обмотки Δ/Δ/YY/YY

4А160М12/8/6/4У3	1,8	490	10,8	56,5	0,45	3,0	1,4	1,0	2,0	20×10^{-2}
	4,0	730	14,4	67,0	0,63	4,5	1,2	1,0	2,0	
	4,25	970	10,1	76,0	0,84	5,0	1,1	0,8	2,0	
	6,7	1460	14,3	79,0	0,90	6,5	1,0	0,8	2,0	
4А180М12/8/6/4У3	3,0	485	13,2	63,0	0,55	4,0	2,0	1,5	1,8	0,29
	5,0	735	15,1	75,0	0,67	5,0	1,6	1,2	1,8	
	6,0	975	13,3	80,5	0,85	5,5	1,3	1,0	1,8	
	8,0	1470	16,8	81,5	0,89	6,0	1,0	0,8	1,8	
4А200М12/8/6/4У3	5,0	492	17,6	72,0	0,60	4,5	1,4	1,2	2,0	0,52
	8,0	742	21,8	80,0	0,70	6,0	1,2	1,0	2,0	
	8,5	985	18,0	82,5	0,87	6,5	1,1	1,0	2,0	
	12,0	1435	24,6	82,5	0,90	7,5	1,0	0,8	2,0	
4А200L12/8/6/4У3	6,0	492	23,0	72,0	0,55	4,5	1,4	1,2	2,0	0,59
	10,0	742	26,0	81,0	0,68	5,5	1,2	1,0	2,0	
	10,5	985	22,3	83,0	0,86	6,5	1,1	1,0	2,0	
	15,0	1435	30,0	83,5	0,91	7,0	1,0	0,8	2,0	

Продолжение табл. 89

Тип	$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин	$I_н$, А, при $U_н$ = 380 В	$\eta_н$, %	$\cos \varphi_н$	$\frac{I_{пуск}}{I_н}$	$\frac{M_{пуск}}{M_н}$	$\frac{M_{мин}}{M_н}$	$\frac{M_{макс}}{M_н}$	Момент инерции, кг·м²
4А225М12/8/6/4У3	7,1	495	24,7	75,5	0,58	4,5	1,4	1,2	2,0	0,93
	12,5	742	35,8	82,0	0,65	6,5	1,3	0,8	2,0	
	13,0	990	44,5	84,5	0,87	6,5	1,1	1,0	2,0	
	20,0	1435	41,0	83,5	0,89	7,5	1,0	0,8	2,0	
4А250S12/8/6/4У3	9,0	495	31,6	76,0	0,57	4,5	1,5	1,2	2,0	1,7
	17,0	742	41,3	84,5	0,74	5,5	1,3	0,8	1,9	
	18,5	990	38,5	84,0	0,87	6,0	1,1	1,0	1,8	
	16,5	1435	52,4	84,5	0,91	7,0	1,0	0,8	1,9	
4А250М12/8/6/4У3	12,0	495	44,0	77,0	0,54	4,5	1,5	1,4	2,0	1,8
	22,0	742	52,2	85,5	0,75	5,5	1,3	0,8	1,9	
	24,0	990	48,0	86,0	0,87	6,0	1,2	1,0	1,9	
	30,0	1435	59,2	85,5	0,90	7,5	1,2	0,8	1,9	

90. Шкала мощностей электродвигателей серии 4АК

h, мм	Условная длина сердечника станины	Мощность, кВт, при частоте вращения, об/мин									
		1500	1000	750	600	500	1500	1000	750	600	500
		1P44					1P23				
160	S	10	7,5	5,5	—	—	15	—	—	—	—
	M	13	10	7,5	—	—	18,5	—	—	—	—
180	S			10	—	—	22	15	11	—	—
	M	18,5	13		—	—	30	18,5	15	—	—

200	M	22	18,5	15	—	—	37	22	18,5	—	—
	L	30	22		—	—	45	30	22	—	—
225	M	37	30	22	—	—	55	37	30	—	—
250	SA	45	—	—	—	—	75	45	37	—	—
	SB	55	37	30	—	—	90	55	45	—	—
	M	75	45	37	—	—	110	75	55	—	—
280	S	—	—	—	—	—	132	90	75	—	—
	M	—	—	—	—	—	160	110	90	—	—
315	S	—	—	—	—	—	200	132	110	75	55
	M	—	—	—	—	—	250	160	132	90	75
355	S	—	—	—	—	—	315	200	160	110	90
	M	—	—	—	—	—	400	250	200	132	110

91. Технические данные малошумных электродвигателей серии 4А при $U_н = 380$ В с высотой оси вращения 460 мм*

Тип	$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин	$I_н$, А	$\eta_н$, %	$\cos \varphi_н$	$\frac{I_{пуск}}{I_н}$	$\frac{M_{пуск}}{M_н}$	$\frac{M_{мин}}{M_н}$	$\frac{M_{макс}}{M_н}$	Момент инерции, кг·м²
Синхронная частота вращения 1500 об/мин										
4А160S4НУ3	11,0	1470	21,4	88,5	0,88	7,0	1,2	1,0	2,2	0,11
4А180М4НУ3	15,0	1470	31,0	89,5	0,90	7,0	1,2	1,0	2,2	0,14
Синхронная частота вращения 1000 об/мин										
4А160S6НУ3	7,5	980	16,6	85,5	0,80	6,5	1,2	1,0	2,0	0,13
4А160М6НУ3	11,0	980	24,0	86,5	0,80	6,5	1,2	1,0	2,0	0,2

Продолжение табл. 91

Тип	$P_н$, кВт	$n_н$, об/мин	$I_н$, А	$\eta_н$, %	$\cos \varphi_н$	$\frac{I_{пуск}}{I_н}$	$\frac{M_{пуск}}{M_н}$	$\frac{M_{мин}}{M_н}$	$\frac{M_{макс}}{M_н}$	Момент инерции, кг м²
Синхронная частота вращения 750 об/мин										
4A160S8НУ3	5,5	735	15,4	83,5	0,66	5,5	1,2	1,0	2,0	0,15
4A160M8НУ3	7,5	735	21,2	84,0	0,65	5,5	1,2	1,0	2,0	0,19

* Данные электродвигателей с остальными высотами оси вращения аналогичны техническим данным машин основного исполнения.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Борис Владимирович Кузнецов
Михаил Федорович Сацукевич

АСИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ
И АППАРАТЫ УПРАВЛЕНИЯ

Редактор Л. Б. Ванчук. Художник Б. Е. Ярота. Художественный редактор Р. В. Кондрад. Технический редактор М. А. Шабалинская. Корректоры Р. И. Мовшович, Н. Н. Масаренко

ИБ № 1629
Сдано в набор 21.07.81. Подп. в печать 25.05.82. АТ 07660. Формат 84×108 1/32. Бумага тип. № 3. Гарнитура литературная. Высокая печать. Усл. печ л. 11,76. Усл. кр.-отт. 11,76. Уч.-изд. л. 9,97. Тираж 15 000 экз. Заказ 1797. Цена 75 к.

Ордена Дружбы народов издательство «Беларусь» Государственного комитета БССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 220600, Минск, проспект Машерова, 11.

Минское производственное полиграфическое объединение им. Я. Коласа. 220005, Минск, Красная, 23.

Кузнецов Б. В., Сацукевич М. Ф.

К 89 Асинхронные электродвигатели и аппараты управления: (Справ. пособие).— Мн.: Беларусь, 1982. — 222с., ил.

В пер.: 75 к.

Даются рекомендации по выбору электродвигателей для производственных механизмов, подбору пусковой и защитной аппаратуры, эксплуатации и ремонту обмоток асинхронных электродвигателей. Приводятся технические данные новейших серий асинхронных электрических двигателей, аппаратов управления и защиты. Рассматриваются наиболее характерные неисправности электродвигателей и способы их устранения.

Рассчитано на инженерно-технических работников промышленных предприятий.

К $\frac{2302030000-155}{М 301(05)-82}$ 100—82

ББК 31.261.63

6П2.1.081